



Impacts géographiques de l'éruption de 2010 du volcan Merapi, Java, Indonésie

Adrien Picquout

► To cite this version:

Adrien Picquout. Impacts géographiques de l'éruption de 2010 du volcan Merapi, Java, Indonésie. Géographie. Université Panthéon-Sorbonne - Paris I, 2013. Français. NNT : 2013PA010581 . tel-01243680

HAL Id: tel-01243680

<https://theses.hal.science/tel-01243680>

Submitted on 15 Dec 2015

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

UNIVERSITE PARIS 1 – PANTHEON SORBONNE

ECOLE DOCTORALE

Doctorat de géographie

M. Adrien PICQUOUT

IMPACTS GÉOGRAPHIQUES DE L'ÉRUPTION DE 2010 DU VOLCAN MERAPI, JAVA, INDONESIE



Thèse dirigée par Franck LAVIGNE

Soutenue publiquement le 29 mars 2013
devant le jury composé de :

- Franck Lavigne, Professeur, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne
- Monique Fort, Professeur, Université Paris 7 Paris Diderot
- Patrick Pigeon, Professeur, Université de Savoie
- Magali Reghezza-Zitt, Maître de conférences, ENS
- Jean-Christophe Komorowski, Professeur, IPGP

Directeur de thèse
Rapportrice
Rapporteur
Examinatrice
Examineur



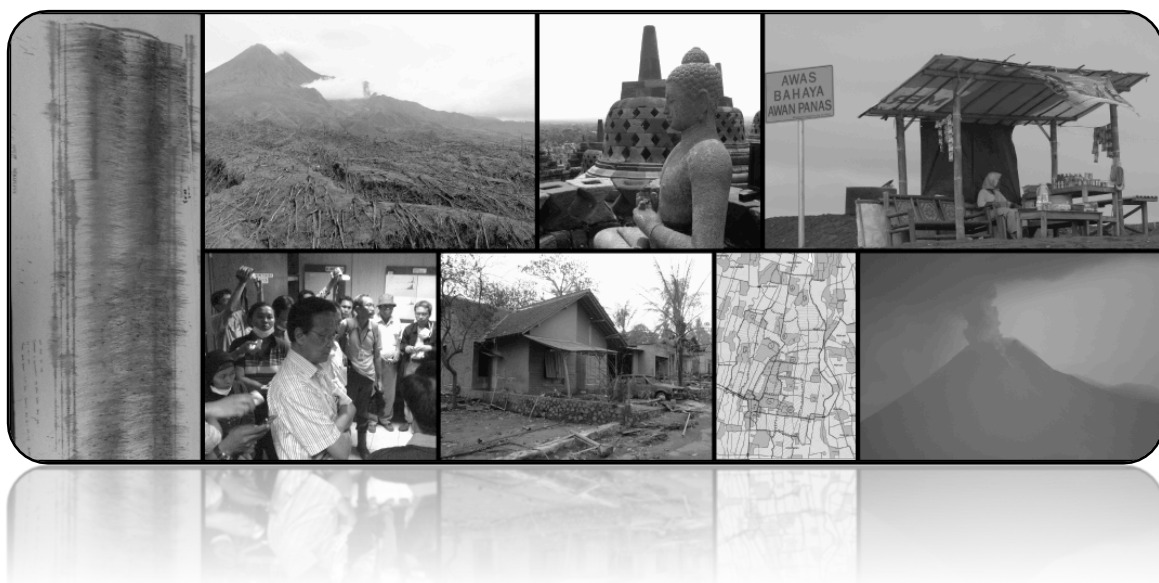
UNIVERSITE PARIS 1 – PANTHEON SORBONNE

ECOLE DOCTORALE

Doctorat de géographie

M. Adrien PICQUOUT

**IMPACTS GÉOGRAPHIQUES DE L'ÉRUPTION DE 2010
DU VOLCAN MERAPI, JAVA, INDONESIE**



Thèse dirigée par Franck LAVIGNE

Soutenue publiquement le 29 mars 2013
devant le jury composé de :

- Franck Lavigne, Professeur, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne
- Monique Fort, Professeur, Université Paris 7 Paris Diderot
- Patrick Pigeon, Professeur, Université de Savoie
- Magali Reghezza-Zitt, Maître de conférences, ENS
- Jean-Christophe Komorowski, Professeur, IPGP

Directeur de thèse
Rapportrice
Rapporteur
Examinatrice
Examineur



À ma grand mère, Thaïs

Résumé

Le 26 octobre 2010, le Merapi, volcan le plus peuplé et le plus actif de l'île de Java en Indonésie, est entré en éruption. Depuis plusieurs mois, l'activité du volcan avait crû de manière exponentielle et les scientifiques s'attendaient à une éruption exceptionnelle. Leurs pronostiques furent confirmés puisqu'un *blast* parcourut une distance de 8 km, rasa en partie deux villages évacués, et tua mbah Marijan, le « gardien des clés du volcan » et son entourage, ce qui perturba l'équilibre culturel de la région. Dans les jours suivants, l'activité du volcan continua de s'intensifier et des évacuations massives furent organisées. L'éruption paroxysmale du Merapi eut lieu dans la nuit du 4 au 5 novembre ; alors que plusieurs dizaines de milliers de villageois étaient en train de fuir le volcan, de puissantes coulées pyroclastiques dévalèrent les flancs du volcan, tuant et détruisant tout sur leur passage sur une distance maximale de 17 km. Cette nuit-là, plus de 250 personnes furent tuées et des milliers d'autres blessées. Le secteur agricole subit de lourdes pertes puisque de nombreuses récoltes et un grand nombre de têtes de bétail furent perdus. L'activité touristique de la région connut une réaction en chaîne d'impacts, générée en grande partie par la fermeture de l'aéroport de Yogyakarta.

La thèse propose de faire une étude transversale et systémique de ces impacts en analysant comment gouvernement et populations se remettent de cette éruption et s'apprentent à faire face à une future crise causée par le Merapi.

Mots-clés : Impacts, éruption, vulnérabilité, risque, résilience, transmigration, perturbation du trafic aérien, Merapi, Indonésie.

Abstract

On October 26th 2010, the Merapi volcano, the most populated and active volcano on the Java Island in Indonesia, began erupting. During several months, the volcano's activity grew exponentially and scientists were expecting an exceptional eruption. Their predictions got confirmed as a blast ran through a distance of 8 km, partially destructed two villages (that got evacuated) and killed mbah Marijan, the "Volcano's keys guardian" and his entourage. As a consequence, the cultural balance of the region got disrupted for a while. In the following days, the volcano's activity kept increasing and mass evacuations were organized. The paroxysmal eruption of Merapi occurred in the night of November 4th to 5th 2010, while tens of thousands of villagers were running away from the volcano. Powerful pyroclastic flows ran down its flanks, killing and destroying everything on their way over a maximum distance of 17 km. During that night, over 250 people were killed and thousands were injured. The agricultural sector suffered from heavy losses as many crops and livestock were lost. The tourism industry in the region experienced a chain reaction of impacts generated by the closure of Yogyakarta airport.

The thesis offers to make a transversal and systemic study of these impacts by analyzing how the government and people recovered from the eruption and how they are to face a future crisis caused by the Merapi.

Keywords: Impacts, eruption, vulnerability, risk, resilience, transmigration, air traffic disruption, Merapi, Indonesia.



« À la rencontre de l'aurore sur le Merapi » par Ki Joko Wasis,
camp de réfugiés de l'éruption du Merapi de Maguwokerto, novembre 2010

Titre original : « *Menyongsong Fajar Merapi* »

AVANT PROPOS

Le projet de cette thèse s'est amorcé petit à petit, au long de mes années d'études universitaires et au fil des rencontres et des découvertes faites en France et en Indonésie.

À l'origine, j'envisageais d'achever mes études par une licence en géographie. Mais en 2005, lors d'un premier voyage en Indonésie, je tombai amoureux de ce pays magnifique, de sa culture et de ses habitants. À mon retour, j'appris que mon professeur, Franck Lavigne, également passionné par ce pays, en était un spécialiste. Lorsque je lui fis part de mes impressions de voyage et de mon envie de retourner en Indonésie, il me proposa de faire une maîtrise sur les lahars à Java-Est, dans le village de Curah Koboan situé sur les flancs du volcan Semeru. Cette expérience de trois mois d'immersion totale dans un village javanais, coupé du monde, fut exceptionnelle. Elle me permit de mieux connaître le pays et me donna le goût de la recherche. Alors que je me trouvais encore en Indonésie pour ces recherches, Franck Lavigne et Patrick Wassmer me proposèrent de les accompagner pour travailler sur des dépôts de tsunami à Banda Aceh. Ils m'encouragèrent alors à pousser plus loin mes études en me convainquant que j'étais capable de mener à bien une thèse et que ce serait une superbe aventure. Ce fut le cas, la thèse fut extrêmement formatrice et m'a transformé.

Le travail de recherche de cette thèse a été réalisé au sein de l'Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne et plus précisément au Laboratoire de Géographie Physique.

L'étude a été menée et financée en partie dans le cadre du programme européen MIA VITA (Mitigate and **Assess** risk from **Volcanic Impact** on **Terrain** and human **Activities**), lui-même financé par le 7^{ème} programme cadre (FP7) de la commission Européenne.

Ce projet visait à développer des outils et des méthodologies de coûts intégrés efficaces pour atténuer les risques de divers dangers sur les volcans actifs (prévention, gestion des crises et résilience). Le projet MIA-VITA rassemblait des équipes pluridisciplinaires et internationales :

- des agences de la protection civile : DDSC (France) et DPCI (Italie),
- des équipes de scientifiques dans les sciences de la Terre : BRGM (France), INGV (Italie), IST (Portugal), Université de Cambridge (Royaume-royaume), NILU (Norvège),
- des sciences sociales : Laboratoire de Géographie Physique du CNRS (France),
- du sol et de l'agriculture : Université de Hohenheim (Allemagne),
- des Technologies de l'information et des télécommunications : INESC-ID (Portugal) et une société d'informatique privée : KELL (Italie).

Le programme était en partenariat étroit avec les organisations chargées de la gestion du risque volcanique du Cap-Vert (INMG), du Cameroun (MINIMIDT), d'Indonésie (CVGHM) et des Philippines (PHIVOLCS),

La présente étude fait partie des recherches réalisées dans le *work package* 5 dont les objectifs étaient les suivants :

- Tracer un profil des communautés qui vivent sur le volcan
- Définir la vulnérabilité et les capacités à faire face aux risques des populations qui vivent dans les zones à risques
- Étudier les réactions des populations en cas de crise volcanique
- Anticiper des tendances comportementales face à une éruption volcanique
- Étudier la résilience et anticiper des comportements post-crisis

REMERCIEMENTS :

Je souhaite tout particulièrement remercier **Franck Lavigne**, directeur de cette thèse et professeur exceptionnel qui a su me faire partager sa passion pour les risques naturels, l'Indonésie et plus spécifiquement le Merapi. Il est l'initiateur de ce projet qui débuta par une conversation en voiture entre Bandung et Jakarta, le 4 mars 2007, dans laquelle il me disait que j'étais capable de faire une thèse et qu'il croyait en moi. Dès lors, la thèse nous a fait partager des moments riches en émotions et en souvenirs. Franck m'a permis d'aller au bout de ma thèse en m'aidant à bénéficier de financements de différents programmes, sans quoi cette thèse aurait été matériellement impossible.

Merci à **Jean-Jacques Picquout**, mon père, qui a toujours cru en moi et m'a toujours poussé à aller au bout de mes rêves. Il m'a initié le proverbe : « Quand on veut, on peut » et je suis content de pouvoir lui montrer qu'il avait raison. Je le remercie également pour les premières années de cette thèse où, à un moment difficile pour la famille, m'a soutenu financièrement et moralement.

Claire Heusèle, ma Moune, a été le plus grand soutien de ma thèse. Claire a été à l'initiative de mon premier séjour en Indonésie en 2005 alors que je n'avais jamais entendu parler de ce pays. Je la remercie pour tout, son soutien moral, d'avoir toujours été présente dans les moments difficiles ; pour les centaines d'appels qu'elle m'a passé quand j'étais au quatre coins de Java ; pour les merveilleux moments de découverte que nous avons passé ensemble dans différents coins d'Indonésie et tous ceux, plus difficiles au départ de Roissy Charles-de-Gaulle. Enfin, merci pour tout le temps passé à relire cette thèse et pour tous les judicieux conseils qu'elle y a apporté.

Je remercie également **Delphine Grancher**, pour ses compétences en statistiques, en géographie et sur les thèses. Merci pour les coups de gueules poussés lors de nos différences d'opinion dans le cadre des recherches et pour ceux qui ont permis de me relancer ; pour le temps passé à corriger cette thèse et m'avoir aidé à préparer la soutenance de celle-ci ; enfin, pour avoir partagé de nombreux moments forts lors de nos colocations, intenses en émotions et en rebondissements, parfois dignes d'un mauvais *sinetron* indonésien.

Terima Kasih à **Estuning Wulan Mei** (Estu) pour m'avoir supporté durant les nombreuses heures passées en voiture avec moi autour du Merapi pour distribuer et récupérer les questionnaires, mais aussi pour m'avoir accompagné avec l'équipe de P. Baxter. Pour avoir partagé avec moi les moments tantôt décourageants et exaspérants, tantôt désopilants et beaux en amitié. Merci également de m'avoir permis d'acheter ma moto sans laquelle les recherches pour cette thèse auraient été impossibles.

La période de l'éruption du Merapi n'aurait pas été la même sans **Marie Le Sourd**, alors directrice du LIP (centre culturel français) de Yogyakarta. C'est avec Marie que j'ai passé le plus de temps durant cette période à faire le point, tous les jours, à midi et à minuit, afin d'apporter des informations et des recommandations aux Français installés à Yogyakarta ainsi qu'à l'ambassade de France de Jakarta. Merci d'avoir partagé avec moi tous les intenses moments de l'éruption et notamment les moments de stress. Merci également de m'avoir prêté la voiture consulaire durant neuf mois, ce qui m'a permis de poursuivre mes recherches durant cette période, mais aussi pour tous ces diners dans les restaurants chics de la ville qui m'ont permis de rencontrer beaucoup de gens intéressants.

Un grand merci aux membres du jury : **Monique Fort**, **Patrick Pigeon**, **Magali Reghezza-Zitt** et **Jean-Christophe Komorowski**, pour avoir accepté d'évaluer ce travail.

Merci à **Alban Sciascia** pour toutes les discussions que nous avons eu sur l'Indonésie et sur les Indonésiens, sur ses connaissances concernant la géopolitique de l'archipel, ainsi que tous les moments partagés à Yogyakarta.

Terrima kasih à **Edo Setiawan**, pour avoir partagé avec moi les dernières années de cette thèse, en me soutenant, me motivant et pour tous les super moments passés ensemble.

Jerome Dugain, est venu me rendre visite à plusieurs reprises à Yogyakarta, je le remercie pour sa compagnie, son soutien, tout ce que l'on a partagé et surtout pour son amitié. Merci aussi pour son hospitalité à Paris.

Terima kasih également à **Aisyah Maulidina** (Dina), ma sœur d'adoption qui a été ma traductrice lors de mes premières recherches au Merapi. Merci pour les longues discussions sur l'Islam, sur la tradition javanaise et sur l'Indonésie. Dina a beaucoup participé à ma compréhension sociologique des habitants de l'île de Java et m'a permis de comprendre les comportements des populations vivant sur le volcan.

Je remercie **Valérie Diard** pour m'avoir changé les idées en me parlant d'autres sujets que de la thèse et pour toutes les soirées où elle m'a invité à dîner au Novotel de Yogyakarta et à passer des super weekend luxueux à l'hôtel Mercure de Sanur.

Merci à **Jean-Christophe Komorowski**, **Susanna Jenkins** et **Peter Baxter**, l'équipe de choc avec qui j'ai partagé des moments de recherches intenses sur le Merapi. Je les remercie tous les trois pour avoir partagé avec moi leurs connaissances concernant leurs sujets de recherches, pour m'avoir intégré dans leur équipe et pour m'avoir fait pratiquer l'anglais avec l'accent britannique de Cambridge.

Je tiens également à remercier **Elisabeth D. Inandiak**, qui a partagé avec moi à plusieurs reprises ses connaissances sur la culture et la tradition javanaise. Elisabeth est une dame que je respecte énormément pour son intelligence, son savoir, son humilité et pour sa générosité envers ses villages adoptifs de Bebekan et Kinahrejo.

Dès le début de l'éruption, **Philippe Jousset** a partagé avec moi ses connaissances en sismologie et en volcanologie. C'est en travaillant avec lui que j'ai pu être au cœur du bureau de volcanologie au moment les plus intenses de l'éruption et que j'ai pu comprendre celle-ci.

Merci à **Céline Vidal** pour avoir travaillé avec notre équipe sur les impacts sur le bâti par télédétection, pour avoir partagé sa grande connaissance des logiciels de SIG et d'avoir travaillé avec patience sur la base de donnée de cette thèse.

Je remercie Pak **Surono**, pour m'avoir permis de vivre l'éruption avec les équipes de la volcanologie indonésienne, d'être présent lors des discussions, des phases de questionnement, et ainsi de me permettre de mieux comprendre les enjeux des évacuations lors d'une crise de l'ampleur de celle de 2010.

Maternuwun à Pak **Junun, Danang** et à la **faculté de géographie de l'Université Gadjah Mada** de Yogyakarta pour les soutiens financiers et matériaux qu'ils ont apporté pour cette thèse notamment la bourse d'étude indonésienne *Darmasiswa* et le prêt de la voiture du PSBA.

Je remercie l'**Ambassade de France** à Jakarta, plus particulièrement **Sandar Chanemougam**, consul de France et **Sebastien Surun**, alors premier conseiller pour m'avoir donné leur accord pour le prêt de la voiture consulaire du LIP de Yogyakarta qui m'a beaucoup aidé dans mes recherches.

Terima kasih à **Ibu Isye** pour son aide dans mes recherches sur les impacts aériens et sans qui cette partie de l'étude n'aurait pu être réalisée. Merci pour avoir partagé toutes les données disponibles à l'aéroport de Yogyakarta et m'avoir mis en relation et recommandé auprès des aéroports de Surakarta et Semarang.

Merci à **Règine Delahaye**, ma mère, pour m'avoir soutenu dans cette thèse et pour m'avoir laissé partir à l'autre bout de la planète pour faire mes recherches.

Terima kasih banyak aux **habitants du village de Curah Koboan** et plus particulièrement **Ibu et Pak Mistari** qui ont été là aux prémices de cette thèse. C'est grâce à tous ces gens qui m'ont intégré dans la vie de leur village durant les trois mois de recherche de mon master que je suis tombé amoureux de l'Indonésie et que j'ai commencé à apprendre leur langue et leur culture.

Je remercie **Thaïs Trauchessec**, ma grand mère, pour m'avoir accueilli à Ribennes et tenu compagnie lors de la fin de la rédaction de cette thèse et pour m'avoir soutenu financièrement durant toute la durée de mes études.

Enfin merci au programme de recherches européen **MIA-VITA** qui a largement contribué au financement de la thèse.

Je remercie le **Laboratoire de Géographie Physique** et plus particulièrement **Catherine Kuzucoglu, Daniel Brunstein** et **Michelle Pennec**, respectivement pour m'avoir accueilli dans l'équipe, m'avoir débloqué de nombreuses fois en SIG et pour les ordres de mission ainsi que les billets d'avions pris à la dernière minute.

Terima kasih à **Yessi Widi** et **Deddy Irawan**, qui m'ont beaucoup appris sur les Indonésiens, Yogyakarta et l'Indonésie. Pour l'aide qu'ils ont apporté à cette thèse en m'assistant lors d'interviews, en m'aidant à chercher des données et pour tous les moments passés ensemble, souvent agréables et parfois plus difficiles.

Enfin, merci à **Mbak Wati**, ma femme de ménage à Yogyakarta, qui m'a allégé d'une partie de mes tâches domestiques au profit de mes recherches, qui m'a beaucoup fait rire par sa naïveté, sa paresse et sa curiosité.

SOMMAIRE

INTRODUCTION	17
PREMIÈRE PARTIE : Cadre de l'étude et choix méthodologiques	27
Chapitre I - Le cadre du terrain d'étude : le volcan Merapi et son éruption de 2010	31
1. Le contexte géodynamique indonésien	31
2. Le Merapi, un volcan très actif	34
3. Le contexte humain de l'étude	48
4. L'éruption de 2010	74
Chapitre II - Objectifs et Méthodologie	85
1. Acquisition de données	85
2. Traitement des données	100
SECONDE PARTIE : Les impacts démographiques et culturels de l'éruption	113
Chapitre III – Les conséquences démographiques de l'éruption	123
1. La vulnérabilité des populations du Merapi à la veille de l'éruption d'octobre - novembre 2010	123
2. L'éruption la plus meurtrière depuis 80 ans	134
3. Les impacts de l'éruption à l'échelle locale	144
4. Discussion	157
Chapitre IV - Réadaptation, reconversion, impacts à long terme	169
1. Reconstruction et relocalisation	169
2. La transmigration, une solution en cas de catastrophe ?	182
TROISIÈME PARTIE : Les impacts socio-économiques de l'éruption	195
Chapitre V – Les perturbations du trafic aérien	199
1. Les éruptions volcaniques, sérieuses menaces pour l'aviation	199
2. Les transports inter-régionaux autour du Merapi	203
3. Les impacts de l'éruption sur les flux de transports javanais	206
4. D'importants impacts socio-économiques liés aux perturbations du trafic aérien	215
Chapitre VI - Une économie fortement perturbée sur l'ensemble du volcan	227
1. Les conséquences socio-économiques des éruptions	227
2. Les lourds impacts de l'éruption sur le bâti	235
3. L'agriculture et l'élevage activités vitales au Merapi	246
4. Le secteur touristique particulièrement impacté	256
CONCLUSION GÉNÉRALE	273
BIBLIOGRAPHIE	283
TABLE DES MATIÈRES	301
TABLE DES FIGURES	305
TABLE DES TABLEAUX ET ENCADRÉS	312
ANNEXES	315

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Une très grosse éruption a souvent lieu après une période de repos prolongée du volcan. Ainsi, le Pinatubo aux Philippines entra en éruption en 1990 après 500 ans de sommeil. Ce fut également le cas du volcan indonésien Sinabung qui se réveilla en 2010 après 400 ans d'inactivité. Ces éruptions surprennent grandement les habitants car leur perception du risque est réduite et provoquent par conséquent des dommages importants au niveau local.

L'éruption de 2010 du Merapi, situé à cheval sur les provinces de Java centre et de Yogyakarta en Indonésie, eut lieu dans un autre contexte : celui d'un volcan en activité quasi-permanente depuis 986 (Newhall et al., 2000) où les populations sont habituées aux éruptions, mais de taille plus modeste. Le Merapi se distingue des autres 130 volcans actifs de l'archipel par un paradoxe unique : il est l'un des volcans les plus actifs de la planète, tout en étant le plus peuplé du monde.

Les risques volcaniques sont encore très importants en Indonésie malgré les progrès réalisés dans la surveillance des volcans. La densité de population est très forte sur les flancs des volcans en raison de la plus grande fertilité des terres ; sur les flancs du Merapi, où vit plus d'un million de personnes, la densité moyenne atteignait 1 271 hab./km² en 2010. De plus, le tiers de cette population, soit environ 200 000 personnes, vit dans une zone menacée par des écoulements pyroclastiques et/ou des lahars. La vulnérabilité augmente d'année en année du fait de la forte croissance démographique des populations installées sur les flancs et à proximité du volcan.

En 2010, le Merapi produisit sa plus forte éruption depuis près de 150 ans. L'augmentation soudaine de l'activité du volcan indiqua aux organismes de gestion de la crise que l'éruption allait être importante. Cela mit en évidence le manque de préparation des autorités à faire face à une crise de cette ampleur et leur impuissance à pouvoir tout gérer et tout contrôler.

La présente étude a commencé en 2007 dans le cadre d'un master de recherche destiné à préparer une thèse portant sur le Merapi. L'objectif était d'étudier le risque volcanique au Merapi, essentiellement à travers un travail bibliographique centré sur l'aléa et

la vulnérabilité des populations. De plus, trois mois de recherches préliminaires sur le terrain ont été effectués pour obtenir des premiers contacts et prendre connaissance du cadre de l'étude. La problématique du sujet s'intégrait dans la question des risques en géographie, de leur gestion, comme celle des crises associées. Selon la définition communément admise du risque (risque = aléa x enjeux x vulnérabilité), l'aléa représente l'intensité, la probabilité d'occurrence et la temporalité d'un processus – physique dans le cas présent – et la vulnérabilité le degré de dommages subis par les enjeux, exprimé en valeur absolue ou en pourcentage du total (Dauphiné, 2001 ; Veyret, 2003 ; Leone et Vinet, 2008).

La vulnérabilité est partie intégrante de l'étude des risques. C'est une notion récente qui apparaît dans la littérature scientifique anglo-saxonne dans les années 1970 (Baird et al., 1975 ; O'Keefe et al., 1976, Wisner et al., 1977). En 1994, elle est placée au centre des recherches de la conférence de Yokohama, qui s'est tenue dans le cadre de *l'International Decade for Natural Disasters Reduction*. Avant que le concept n'apparaisse aux Etats-Unis, on employait les mots sensibilité, susceptibilité ou fragilité (Gaillard, 2010). La notion de vulnérabilité est complexe à définir en raison de son contenu largement pluridisciplinaire (Pigeon, 2002, 2005). En France, Thouret et D'Ercole (1996) définissent la vulnérabilité lors du colloque international de Clermont-Ferrand du 2-3 décembre 1994, comme « La propension variable d'une société donnée à subir des dommages en cas de manifestation d'un phénomène naturel ou anthropique. ».

Malgré un large consensus parmi les scientifiques sur la définition de la vulnérabilité, d'importantes divergences d'approches existent (Pigeon, 2005 ; Gaillard, 2010). Ces différences ont été données suites à plusieurs classifications et typologies (Timmerman, 1981; D'Ercole, 1998; Wisner, 2004 ; Leone et al., 2007).

Aujourd'hui on distingue l'approche dominante des risques, « aléa-centrée », basée sur l'exposition d'un territoire à un ou plusieurs aléas (Coanus et al, 2010); l'approche radicale orientée au delà des concepts vulnérabilité, capacité, résilience (Gaillard, 2010) et l'approche plus récente centrée sur les enjeux de gestion de crise (Robert, 2012).

La définition de D'Ercole (1994) est associée à plusieurs approches pour l'étude de la vulnérabilité. La première, plus quantitative, consiste à mesurer l'endommagement potentiel des éléments exposés à un aléa, elle concerne plus les sciences appliquées. Les sciences sociales utilisent plus la seconde méthode, qui cherche à déterminer les conditions de

l'endommagement et va jusqu'à étudier la capacité de réponse de l'objet menacé. Le troisième courant est une approche semi-quantitative de la vulnérabilité qui consiste en une hiérarchisation socio-spatiale des éléments vulnérables.

- La démarche quantitative

La première approche est une démarche quantitative de la vulnérabilité qui porte sur les éléments vulnérables, elle « aspire à mesurer l'endommagement potentiel des éléments exposés » (Reghezza, 2005), elle est aussi qualifiée d'approche par l'endommagement (Stewart, 2003 ; Kemp, 2007) ; elle est apparue dans les années 1930 aux Etats-Unis.

La vulnérabilité est exprimée soit :

- Par un coefficient (taux) d'endommagement potentiel compris entre 0 et 1, renvoyant à une échelle d'intensité, appelée échelle de vulnérabilités, qui est calculée par rapport à la valeur économique de remplacement de l'élément exposé. Par exemple, un coefficient d'endommagement de 0,1 correspond à un montant économique des dommages équivalents à 10% de la valeur marchande d'une habitation donnée.
- Par un taux de pertes potentielles et relatives (vies humaines, biens, valeurs diverses), compris entre 0 et 100%, qui s'applique à un stock d'éléments exposés de même nature susceptibles d'être affectés par un même taux d'endommagement potentiel. Ainsi, un taux de pertes de 20% correspond à la proportion du bâti concerné par un taux d'endommagement donné (Leone et Vinet, 2006).

Cette approche est utilisée par les assureurs afin de fixer le montant des primes d'assurances – en se basant sur le principe coût/bénéfice – mais aussi par certains économistes pour aider les décideurs à formuler et à chiffrer des politiques de prévention. On obtient un degré de dommage que chaque élément est susceptible de subir lors d'une catastrophe (Reghezza, 2006). Cette approche seule est remise en question car le dommage est difficilement définissable et son évaluation est très difficile (Pigeon, 2002).

Pour réduire la vulnérabilité, on doit donc chercher à diminuer l'intensité de l'aléa en apportant des solutions techniques et/ou juridiques : en augmentant la capacité de résistance physique des enjeux, diminuant leur sensibilité et leur fragilité avec des normes de constructions adaptées.

• La vulnérabilité sociale

La seconde approche est l'approche dite sociale. Elle a été développée par les sciences sociales et la géographie à la fin des années 1970, c'est une démarche qualitative qui porte sur les facteurs de vulnérabilité. Son but est de « cerner la vulnérabilité à travers différents facteurs qui tendent à la faire varier » (D'Ercole, 1994). Cannon (1994), écrit que la vulnérabilité insiste sur la condition d'une société à permettre à un risque de devenir une catastrophe, qui révèle le dysfonctionnement d'une société (Quarantelli, 1989). La vulnérabilité est alors définie par l'incapacité à faire face à un aléa (Veyret et Reghezza, 2006). Cette approche désigne la vulnérabilité comme « la propension à subir des dommages, suivant la capacité de réponse des sociétés concernées vis-à-vis de menaces d'origine naturelle, anthropique ou mixte » (D'Ercole, 1996). La propension varie selon l'importance de facteurs qu'il est nécessaire d'identifier et d'analyser car ils déterminent un certain type de réponse de la société. En fonction de la population ou de l'objet étudié, le poids de certains facteurs est plus important que d'autres, comme le montrent les nombreuses études réalisées sur les villes (Metzger et D'Ercole, 2011), notamment sud-américaines comme Manizales en Colombie (Chardon, 1994), Quito (Metzger et al., 1999 ; Sierra, 2000, 2009), Caracas (Rebotier, 2008) ou Lima (D'Ercole et Sierra, 2008 ; Sierra, 2009 ; Robert, 2012). Les enjeux sont plus ou moins vulnérables selon la « capacité » des défenses mises en place pour empêcher ou atténuer les aléas par une société ou un individu (Gilbert, 2003) ; la capacité technique mais aussi la disponibilité sociale des individus ou de la société à faire face aux risques (Lewis, 1999 ; Wisner et al., 2004). Elle est le reflet de la perception et de la représentation des risques (Mas, 2012), qui sont elles mêmes fonction de l'éducation, de l'expérience du risque et de la qualité des politiques de prévention des risques (Texier, 2009).

L'évaluation repose sur l'analyse des facteurs intrinsèques ou extrinsèques à l'élément vulnérable qui peuvent agir soit directement, soit indirectement. Ces facteurs peuvent être quantifiés au moyen d'indicateurs ou appréciés qualitativement par le biais de diagnostics et d'enquêtes, puis éventuellement pondérés (Léone et Vinet, 2006).

L'analyse des facteurs de vulnérabilité permet de prévoir l'amplitude des préjudices potentiels, car elle fournit une mesure quantitative de l'exposition des éléments et dans un même temps une mesure qualitative de la capacité de réponse d'un individu ou d'un groupe exposé à une catastrophe. Ainsi il est nécessaire d'identifier les facteurs de vulnérabilité afin de mesurer l'importance du rôle qu'ils jouent. Le tableau 1 propose une liste des principaux facteurs de vulnérabilité.

• Socio-démographiques	Croissance démographique Densité du bâti Extension du bâti Nature de la construction Sous dimensionnement des ouvrages d'évacuation et de traitement des eaux
• Économiques	Facteurs de décohésion et d'instabilité, d'inégalités sociales et de segmentation Structures socio-économiques Densité des réseaux de transports Information et communication Volonté de ne pas quitter le logement à l'arrivée de la catastrophe
• Culturels	Perception du risque Connaissance du danger mais manque de place pour s'installer ailleurs Religion Éducation Expériences passées vécues
• Institutionnels et politico-administratifs	Hierarchie trop importante qui entraîne un nombre important de décisionnaires Manque de coordination entre les acteurs Enjeux politiques ou stratégiques, directs ou indirects Absence de programmes de prévention Absence de réflexion sur les programmes de planification Organismes compétents Législation laxiste Acteurs politiques, gestionnaires parfois peu impliqués Corruption et mafia
• Structurels	Dysfonctionnements techniques et fonctionnels imprévisibles Heure et jour de l'aléa
• Fonctionnels et techniques	Absence de prévision efficace Absence de systèmes d'alerte Mauvaise gestion de crise Mauvaise organisation des aspects techniques et humains Structures de défenses inexistantes Faculté de réponse, communication de l'information préventive et réseau d'alerte Bâti, infrastructure et voirie créatrice de blocages
• Spatiaux	Réseaux Intégration des enjeux au système mondialisé Dimension réticulaire

Tableau 1. Quelques facteurs de vulnérabilité.

Source : Veyret et Reghezza, 2005, tableau complété.

• L'approche semi-quantitative de la vulnérabilité

C'est la hiérarchisation socio-spatiale des éléments vulnérables, qui correspond aux représentations sociales ; elle intègre à la fois les facteurs de vulnérabilité et les éléments vulnérables (enjeux). Cette démarche découle de l'étude précédente ; la vulnérabilité est toujours considérée comme une propension à subir des dommages, mais la société n'est plus appréciée de manière globale ou suivant des facteurs, mais débouche sur une hiérarchisation sociale et/ou spatiale des éléments exposés. Son objectif principal est l'élaboration d'une carte de vulnérabilité (D'Ercole, 1994). Ainsi, Lavigne et Thouret (1994) ainsi que Chardon (1994) utilisent et illustrent cette méthode dans leurs travaux.

Ces trois approches sont complémentaires, l'analyse systémique de la vulnérabilité permet d'aborder ces méthodes globalement et de mettre en évidence les liens entre ces approches (Fig. 1). « Elle explicite, et permet de représenter, de formaliser, l'existence d'interactions entre les facteurs préexistant aux matérialisations spatiales du risque que représentent les diverses formes d'endommagement », « Elle impose une lecture critique des témoignages de dommages qui permettent de repérer les espaces marqués par le risque » et « Elle permet de reconstituer l'historique de ces interactions, en fournissant au géographe un moyen de comprendre les matérialisations territoriales actuelles du risque, tout en les représentant ». (Pigeon, 2002).

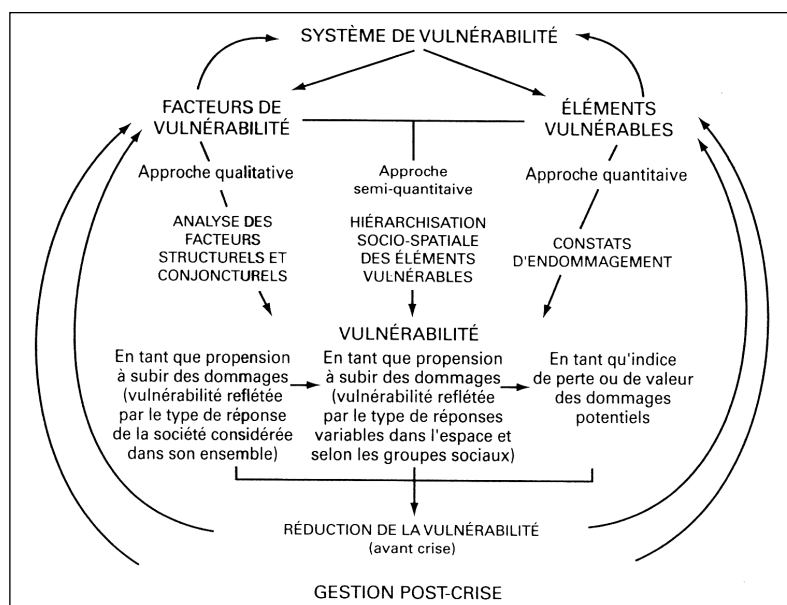


Figure 1. Synthèse des différentes approches de la vulnérabilité et relations.

Source : D'Ercole, 1994.

De nombreuses études sur la vulnérabilité ont déjà été réalisées dans les pays en développement et dans les zones volcaniques (D'Ercole, 1991 ; Chardon, 1994 ; Lavigne, 1998 ; Gaillard et al., 2001 ; Robert, 2012). De ce fait, de nombreux facteurs ont été définis. Cette thèse est partie de ces recherches pour construire la méthodologie. À ces facteurs ont été ajoutés des facteurs socioculturels propres à l'île de Java, hérités de son histoire, de la présence de nombreuses communautés sur l'île et de la diversité des religions et traditions. Cette complexité culturelle est d'ailleurs illustrée dans la devise du pays : « l'unité dans la diversité ». Les risques pouvant parfois « affecter de manière diffuse certains espaces ou, au

contraire, être localisés en un endroit précis » (Novembre, 2002), il a été décidé d'effectuer les recherches à plusieurs échelles.

De 2008 à 2010, l'objectif de la thèse portait donc sur une étude multi-scalaire de la vulnérabilité des populations vivant sur les flancs du Merapi.

L'objectif était triple :

- Inventorier, hiérarchiser puis cartographier les différents facteurs de vulnérabilité en se focalisant surtout sur les facteurs socioéconomiques et socioculturels de vulnérabilité, par une approche participative (centrée sur la population). L'un des principaux objectifs était d'étudier les réactions des populations en cas de crise volcanique.
- Analyser la résilience des populations après plusieurs crises volcaniques (1994, 2006 et éventuellement une prochaine, dans la mesure où le volcan entre en éruption tous les 3-4 ans en moyenne), afin d'anticiper des comportements post-crisis.
- Proposer les résultats aux autorités en charge de la prévention des risques et de la gestion de crise, afin qu'elles puissent anticiper des tendances comportementales face à une éruption pour réduire les refus d'évacuation et les retours anticipés en ouvrant des négociations et en coopérant avec les populations menacées.

L'éruption de 2010 a remis en question une partie des objectifs initiaux de la thèse. Etant donné l'avancement des travaux de recherche au moment de l'éruption, il a été décidé de conserver une partie des objectifs initiaux, mais de changer la problématique de la thèse en l'axant sur les impacts géographiques de l'éruption de 2010. Ainsi, les données déjà acquises ont servi de base à l'étude en permettant une comparaison pré/post éruption pour mieux appréhender les impacts. Cette double étude a également permis de mettre en évidence les facteurs de vulnérabilité identifiés lors de la première étude et d'examiner ceux qui ont été révélés par la catastrophe.

Dans cette thèse, la thématique de la gestion de crise et des évacuations, fondamentale en géographie des risques volcaniques (Morin, 2012), n'est pas traitée car elle fait l'objet d'une autre thèse de doctorat, en cours d'achèvement à l'université Paris 1 Panthéon – Sorbonne, réalisée par Estuning Wulan Mei.

L'objectif de cette thèse est donc d'étudier, selon une approche systémique, les impacts géographiques d'une éruption majeure dans un pays en développement, leurs conséquences et l'effet domino qui se produit parfois entre eux. Ainsi, les conséquences de la

catastrophe affectant un domaine à court-terme peuvent entrainer parfois des conséquences à moyen ou long terme dans un autre domaine. Ces impacts géographiques ont été appréhendés par une approche multi-scalaire, de l'échelle du volcan, voire de la région, à celle du hameau.

La thèse s'articule autour de trois parties :

La première partie propose une présentation du **cadre de l'étude et des choix méthodologiques**. Le premier chapitre présente le Merapi et les aléas potentiels qui y sont associés, puis les enjeux présents sur le volcan, les populations vivant sur ses flancs et enfin les organismes et acteurs de la gestion des risques. Le second chapitre présente les choix méthodologiques faits pour effectuer les recherches de cette thèse.

La seconde partie porte sur **les impacts démographiques et culturels de l'éruption de 2010**. L'introduction du chapitre propose un état de l'art des études sur les conséquences des éruptions. Puis, en partant de l'étude des facteurs de vulnérabilité identifiés à l'aube de cette éruption, l'étude présente les conséquences de cette dernière en termes de victimes, à deux échelles, celle du volcan et celle de deux villages (chapitre 3). La discussion qui s'en suit (chapitre 4) explique les raisons pour lesquelles il y a eu plus de 300 victimes tuées par le volcan et montre comment le gouvernement et les villageois se préparent à faire face aux prochaines éruptions. Ce chapitre met également en évidence les répercussions originales sur la gestion de la crise de la mort dès le début de l'éruption d'un personnage mystique et mythique.

La troisième partie porte sur les **impacts socio-économiques** de l'éruption. Le chapitre 5 présente les conséquences dans le secteur des transports, en insistant sur les transports aériens qui subirent de lourdes perturbations. Enfin, le dernier chapitre de la thèse étudie les répercussions sur les autres secteurs économiques les plus perturbés sur les flancs du Merapi et dans les régions voisines (chapitre 6).

PREMIÈRE PARTIE :

Cadre de l'étude et choix méthodologiques



INTRODUCTION

Le Merapi est un volcan du plus grand archipel au monde : l'Indonésie. Le volcan et le pays sont tous deux caractérisés par de nombreux superlatifs. Volcan le plus peuplé et considéré comme le plus dangereux de la planète avec le Vésuve, l'un des plus actifs au monde et des plus riches culturellement. Le pays est le quatrième plus peuplé au monde et le premier pays musulman. Il compte le plus grand nombre de volcans de la planète et le plus grand nombre de victimes d'éruptions volcaniques, il affiche une des plus fortes croissances économiques actuelles, etc...

Cette partie a pour but de présenter plus précisément le contexte et les choix méthodologiques de cette étude. Le premier chapitre commence par une description de l'activité et des aléas volcaniques que peut générer le Merapi ; puis, par une présentation des populations qui vivent sur le volcan et des raisons pour lesquelles, malgré le danger, le volcan est toujours très densément peuplé. L'étude se poursuit par une description des acteurs de la gestion des risques volcaniques en Indonésie et plus particulièrement au Merapi. Le premier chapitre se termine par un descriptif de l'éruption du Merapi de 2010, qui constitue la base de cette étude.

Dans un second chapitre, nous présentons les choix méthodologiques qui ont été faits pour mener à bien cette étude.

Chapitre I : Le cadre du terrain d'étude : le contexte géodynamique indonésien, le volcan Merapi et son éruption de 2010

1. Le contexte géodynamique indonésien

L'Indonésie est située à jonction de trois plaques tectoniques (Fig. 2) : Indo-Australienne, Pacifique, Eurasiatique. Cette situation est responsable de la naissance d'un alignement de volcans : l'arc volcanique de la Sonde. Il s'étend sur plus de 6 000 km, sur les îles de Sumatra, Java, Bali, Lombok, Sumbawa, Flores et se poursuit à l'Est par les îles de Banda en raison de la poussée exercée par la plaque Pacifique.

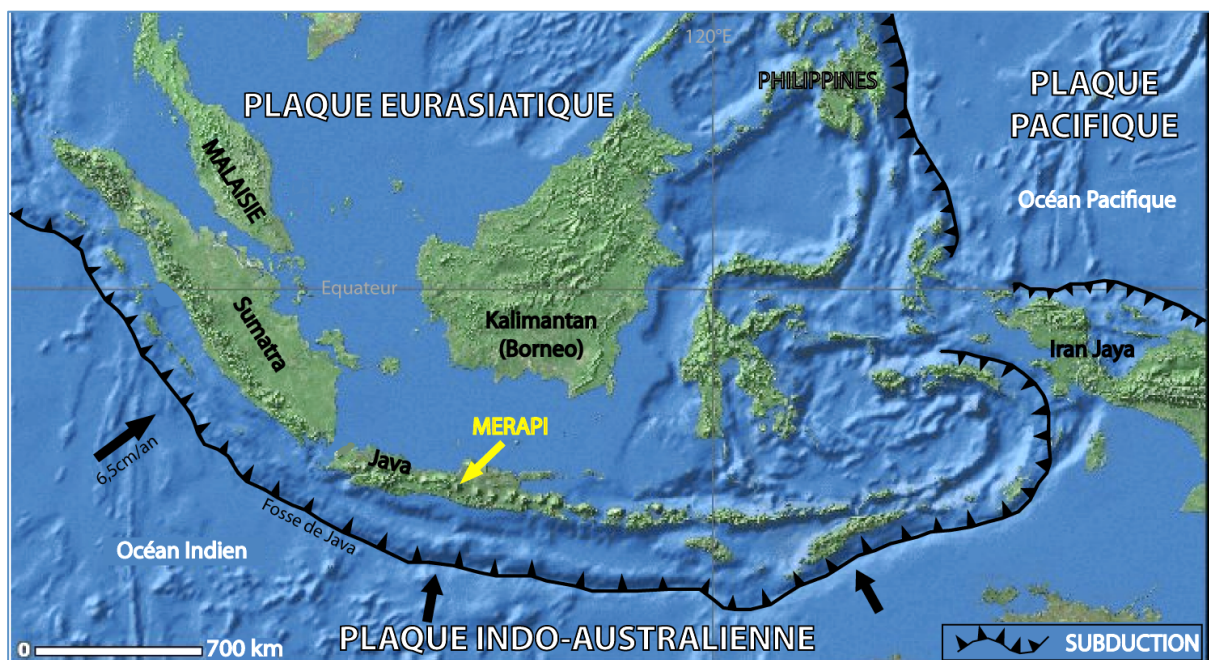


Figure 2. Carte de localisation du Merapi en Indonésie.

L'arc est lié à la subduction océanique (Lallemand et al. 2005) de la plaque Indo-Australienne (au sud) qui s'enfonce sous la plaque Eurasiatique, continentale (au nord), à une vitesse de 6,5 cm par an (Le Pichon et al. 1973). À cette subduction qui a lieu depuis le paléozoïque supérieur, est associée une fosse profonde de 4 500 à 7 000 m (Berthommier et

al. 1986) et des séismes comme celui du 26 décembre 2004 qui fut à l'origine du terrible tsunami qui a frappé l'ensemble de l'océan Indien. Ces séismes tectoniques se produisent à l'aplomb des volcans, à 150-200 km de profondeur ; l'inclinaison du plan de Benioff est de 45-50° (Bahar et Girod, 1983).

Au cours de la subduction de la plaque Australienne au large de Java, des sédiments issus de la croûte continentale sont incorporés au manteau, ce qui crée un magma andésitique à contenu intermédiaire en silice (supérieur à 55%) ou un magma rhyolitique avec une forte proportion de silice, supérieure à 65%. Cette forte teneur en silice donne des magmas visqueux qui ont souvent un contenu élevé en gaz, ce qui justifie l'existence des volcans principalement explosifs et d'une très grande variété de dynamismes éruptifs.

Au sein de cet arc, on compte un grand nombre de volcans actifs (Krakatoa, Semeru, Agung, Rinjani, etc.). L'Indonésie a une histoire chargée de grandes éruptions meurtrières. Le pays détient le triste record du pays le plus meurtri par les éruptions de ces 400 dernières années ; depuis l'an 1600, 60% des victimes d'éruptions volcaniques sont indonésiennes. Sur les 129 volcans actifs de l'archipel indonésien, 70 sont en activité quasi-permanente et cinq d'entre eux ont provoqué des éruptions particulièrement meurtrières. Avant l'éruption de 2010, le Merapi a produit au cours du dernier siècle une éruption responsable de la mort de plus d'un millier de personnes. Les éruptions des volcans Krakatoa (1883), Kelut (1919), Agung (1963) et Tambora (1815) (Fig. 3), firent des milliers de victimes, à des époques différentes et dans des contextes culturels variés.

Le Tambora, situé dans la péninsule de Sanggar sur l'île de Sumbawa, est entré en éruption les 11 et 12 avril 1815. Lors de l'éruption caractérisée de plinienne, donc de très forte magnitude, le cône du volcan fut pulvérisé. Son altitude fut ramenée de 4 000 à 2 800 m et 33 km³ de matériaux furent éjectés dans l'atmosphère (Sigurdsson et Carey, 1989 ; Self et al., 2004). L'éruption du volcan provoqua un dérèglement climatique qui abaissa la température de la planète pendant plus d'un an. Au niveau local, les écoulements pyroclastiques détruisirent les villages situés sur les flancs du volcan et son piémont. Par endroits, plus de 20 mètres de matériaux furent déposés par les coulées pyroclastiques. Un mètre lié aux retombées de cendres fut déposé dans la région proche du volcan, 50 cm sur la partie Ouest de l'île, 25 cm sur l'île de Lombok, 20 cm sur celle de Bali et jusqu'à 5 cm à l'Est de Java et au Sud de Bornéo. Ces pluies de cendres, acides, détruisirent les récoltes de

plusieurs de ces îles, ce qui provoqua une famine dans la région. L'éruption causa la mort d'environ 92 000 personnes, dont la majeure partie à Sumbawa et Lombok.

L'une des éruptions les plus célèbres fut celle du volcan Krakatoa ou Krakatau. Cette île-volcan située dans le détroit de la Sonde, entre Java et Sumatra, entra violemment en éruption les 26 et 27 août 1883. L'éruption, de type plinien, produisit une colonne éruptive de 30 km de hauteur qui généra des coulées pyroclastiques de forte intensité. La violence de l'éruption fut impressionnante car elle fut entendue jusqu'en Australie (Oppenheimer, 2011). Les écoulements pyroclastiques engendrés par l'écroulement de la colonne éruptive s'écoulèrent à la surface de la mer, ce qui produisit plusieurs tsunamis. Les vagues produites par le tsunami lié à la formation de la caldera atteignirent 30 mètres de hauteur et touchèrent les côtes de part et d'autre du détroit de la Sonde ainsi que les rivages des îles situées à l'intérieur de celui-ci. Les tsunamis firent 36 400 victimes (Davidson et De Silva, 2000) et détruisirent partiellement ou totalement un grand nombre de villages côtiers (Fig. 3).

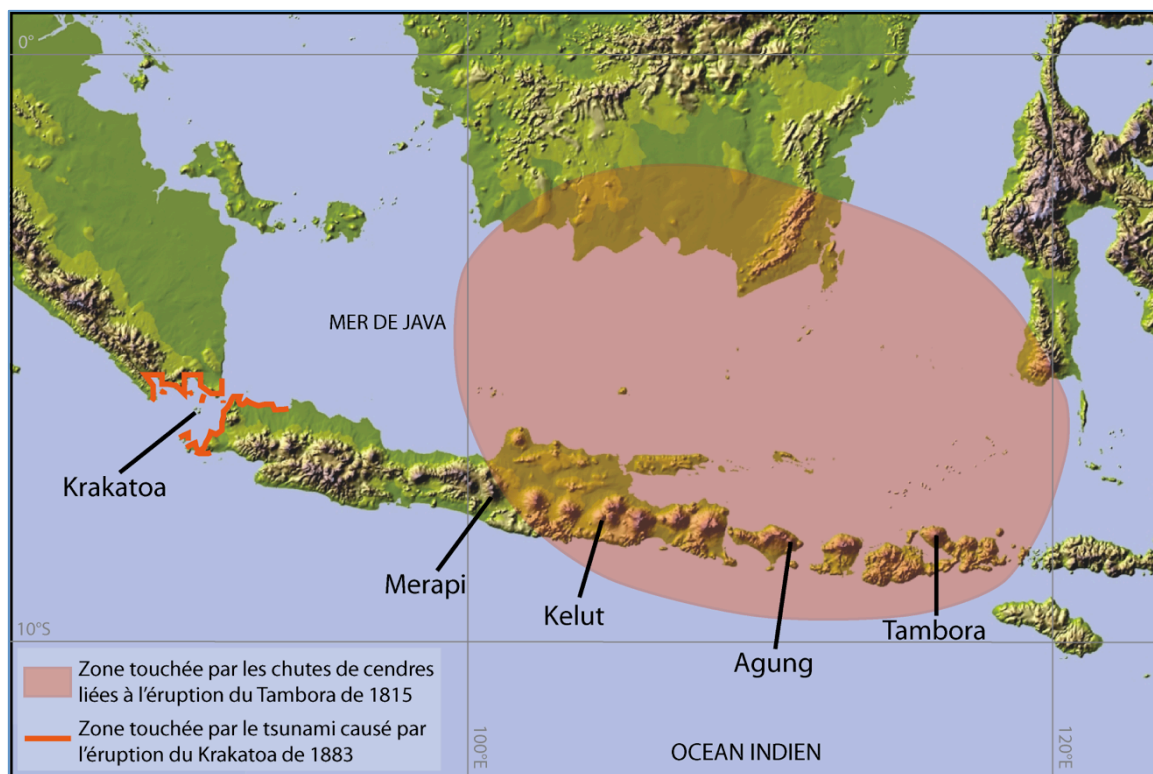


Figure 3. Localisation des volcans indonésiens les plus meurtriers et conséquences des éruptions du Tambora (1815) et du Krakatoa (1883) sur l'archipel.

L'éruption du volcan Kelut fut moins spectaculaire mais fit également un grand nombre de victimes. Ce volcan est situé à l'Est de l'île de Java. Avant l'éruption effusive de

2007 (De Belizal et al., 2012) il avait la particularité de posséder un lac de cratère perché à une altitude de 1 700 mètres. L'éruption la plus meurtrière du Kelut, dont les signes précurseurs n'avaient pas été détectés, eut lieu en 1919. D'un coup, 40 millions de m³ du lac de cratère se sont déversés sur les flancs du volcan, générant de puissantes coulées de débris et/ou de boue d'origine volcanique, appelées *lahars* (Thouret et al., 1998 ; Rodolfo, 1999). En dévalant les pentes, les lahars emportèrent blocs et arbres situés sur leur chemin en se déplaçant jusqu'à 64 km/h et parcourant une distance de 38 km. Au total, les lahars se sont étalés sur une distance de 131 km², causant la mort de 5 160 personnes (Kemmerling, 1921), détruisant plus de 100 villages et enterrant plus de 9 000 maisons (Delmelle et Bernard, 2000). Le flanc sud ouest a été le plus touché par l'éruption, notamment la ville de Blitar.

Le volcan Agung, situé sur l'île de Bali, a lui aussi connu une éruption meurtrière en mars 1963. L'éruption était différente de celles du Tambora, du Krakatoa et du Kelut. La composition du magma (andésite - basaltique comportant 52 % de SiO) a engendré une éruption de type plinien, orientée vers le Nord-Est (Rampino et Self, 1982). Les coulées pyroclastiques firent 1 600 victimes principalement pour des raisons culturelles (Chapitre III) et plusieurs dizaines de milliers de sans abris.

Ces grandes éruptions meurtrières montrent la multitude des aléas liés aux volcans en Indonésie. Le Merapi fait partie de la liste de ces volcans tueurs ; la complexité de ses aléas qui peuvent se combiner, ses flancs très peuplés et un contexte culturel très particulier en font l'un des volcans les plus dangereux d'Indonésie mais aussi de la planète.

2. Le Merapi, un volcan très actif

Le Merapi est un volcan indonésien qui culmine à près de 3 000 mètres et qui est en activité quasi-permanente depuis 986 AD (Newhall et al., 2000). Il est situé au centre de l'île de Java, à cheval sur deux provinces, celle de Java Centre et celle de Yogyakarta (Daerah Istimewa Yogyakarta) et sur quatre *kabupaten* (ou districts) : Sleman, Magelang, Boyolali et Klaten (Fig. 4).



Figure 4. Carte du découpage administratif de la zone d'étude.

Il se distingue des 130 autres volcans actifs de l'archipel par un paradoxe unique : il est l'un des plus actifs de la planète, mais aussi le volcan le plus peuplé du monde.

2.1. Le cadre morphostructural du Merapi

Le Merapi se situe à 320 km au Nord de la fosse et à 190 km au-dessus du plan de Benioff (Whitford 1975) et dans un contexte où les dynamiques géologiques (subductions multiples, failles perpendiculaires à la subduction à Java, etc.) sont complexes ce qui engendre un magma dont la teneur en silice varie au cours du temps selon des cycles plus ou moins réguliers. Ces variations ont pour conséquence des éruptions parfois très importantes qui ont été et peuvent être catastrophiques pour les sociétés humaines qui vivent sur le volcan.

Le Merapi appartient à un alignement de volcans : Ungaran, Telemojo, Merbabu, situés selon une direction Nord 185 (Fig. 5). Bahar et Giraud (1983) montrent que l'alignement de ces volcans n'est pas parallèle à la subduction Nord - Sud à Nord 10, car l'île est coupée par un système de failles perpendiculaires à celle-ci.

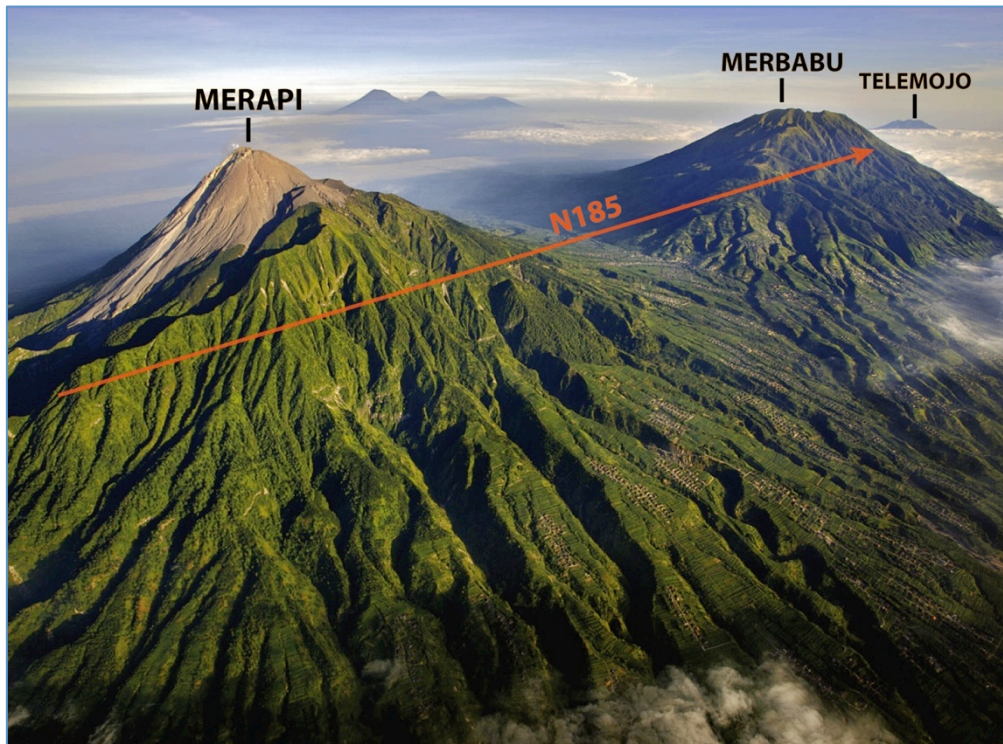


Figure 5. Les volcans alignés selon une direction N.185.

Cliché : J. Stanmeyer, 2008, *National Geographic Society*

2.1.1. Description du volcan

Le Merapi a une altitude qui fluctue en fonction de la croissance de son dôme. En 2000, celle-ci était estimée à 2 965 mètres soit 2 800 mètres au-dessus de l'agglomération de Yogyakarta située à 25 km au sud. Le cône du Merapi a une forme grossièrement circulaire de 13 km de diamètre au-dessus de 1 000 mètres d'altitude. À 500 m d'altitude, sa base a une forme ellipsoïdale et un diamètre maximum de 29 km. Sa croissance est empêchée au Nord par la présence du volcan Merbabu qui culmine à 3 110 m.



Figure 6. Le cône du Merapi (cliché : 17 décembre 2010)

On distingue trois éléments topographiques (Lavigne, 1998) :

La partie supérieure de l'édifice au-dessus de 1 400 mètres a une pente très raide, supérieure à 45° et est dominée par le cône actif au sommet de l'édifice. Ce dernier est échancré par un vaste cratère en forme de « fer à cheval » de 200 mètres, ouvert vers le Sud. Sa morphologie actuelle, caractérisée par un cratère engueulé vers le Sud-Est, est un héritage de l'explosion du 5 novembre 2010 (Fig. 6).

Les versants intermédiaires, entre 1400 mètres et 600 mètres, ont une pente moyenne de 16% sur les flancs Est et Ouest. Ces versants sont entaillés par de profondes vallées creusées par 13 rivières principales qui rayonnent autour de l'édifice. Le piémont du volcan s'étale de 600 mètres à 200 mètres d'altitude avec une pente de l'ordre de 3,6%.

L'activité du Merapi (Fig. 7) se caractérise par des alternances de phases de construction (extrusion et croissance) et de destruction (écroulement) de son dôme. La particularité de ce volcan est l'instabilité de son activité qui est due essentiellement aux variations de la composition chimique de son magma. Bahar étudie son fonctionnement dans sa thèse en 1984 et en déduit qu'existent des variations cycliques résultant de réalimentations successives de la chambre magmatique par un magma basique. Ainsi, la proportion de silice dans le magma varierait au cours du temps entre 51 et 56% (Bahar, 1984).



Figure 7. Évolution de la morphologie du cône du Merapi, avant et après l'éruption de 2010.

Source : Surono et al., 2012.

Sur la première photo, prise en septembre 2010, on aperçoit au sommet, le dôme du volcan. La seconde photo montre l'incision du volcan produit par l'effondrement du dôme lors de l'éruption de 2010.

2.1.2. Histoire géologique

Newhall et al. (2000), qui ont synthétisé les travaux existants portant sur l'histoire géologique et la morphogenèse du Merapi, distinguent deux grandes périodes : le **Merapi ancien** qui s'est formé par l'intermédiaire d'extrusions de lave et d'éruptions explosives entre 8 600 BC. et 100 AD. Cette activité s'est achevée par un effondrement qui a produit une avalanche de débris de date inconnue. Le **nouveau Merapi** a suivi en produisant des éruptions qui ont engendré de la lave, des chutes de cendres et des écoulements pyroclastiques. Il a recommencé à fonctionner en 986 AD. Son activité s'est surtout manifestée à l'Ouest et au Sud. Les dernières éruptions explosives ont, d'après les auteurs, érodé une partie du cône en cours de croissance. Il ressort qu'entre 986 AD. et 1 300 AD., un petit effondrement de l'édifice et une avalanche de débris se sont sans doute manifestés. Depuis un millénaire, la croissance a prédominé sur la destruction pour aboutir au cône moderne.

2.1.3. Activité récente et couloirs des coulées pyroclastiques

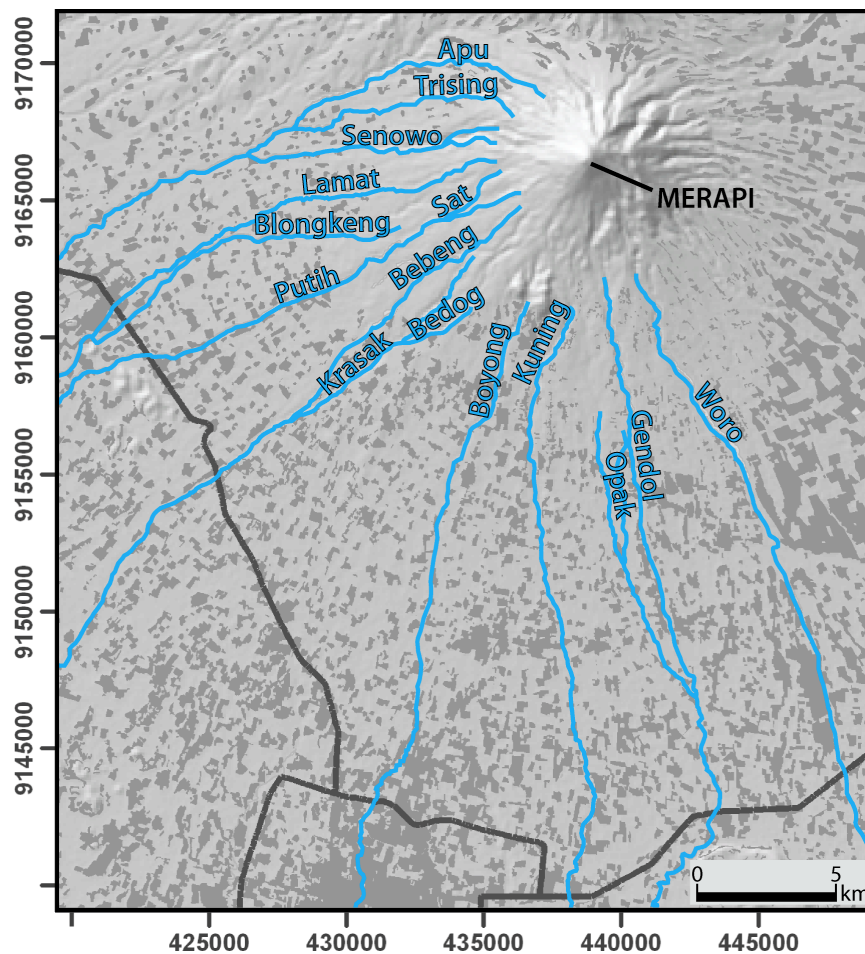


Figure 8. Carte de localisation des principales rivières du Merapi, couloirs des coulées pyroclastiques historiques.

Avant l'éruption de 2010 on recensait une quarantaine d'éruptions (CVGHM). Près de 70 % de leurs dépôts étaient localisés sur les flancs Ouest (35%) et Sud-Ouest (35%), les 30% restant étaient répartis entre les flancs Sud, Sud-Est (20 %) et Nord (10 %).

Depuis l'éruption du Merapi en 1994, l'effondrement de l'ancien dôme du volcan a entraîné un changement de l'orientation dominante des coulées pyroclastiques, jusqu'alors Sud-Ouest (Voight et al., 2000). Le couloir des coulées a été orienté au Sud, notamment dans la vallée de la rivière Boyong (Fig. 8). Depuis 2006, les écoulements pyroclastiques sont toujours orientés vers le Sud mais le couloir privilégié est désormais celui de la rivière Gendol (Tab. 2).

Date de l'éruption	Orientation	Vallées empruntées par les coulées pyroclastiques	Nom de la rivière et distance maximum parcourue
Avril 1961	Ouest ; Sud-Ouest	Senowo, Lamat, Sat, Batang, Bebeng, Krasak	Batang : 12 km
Octobre 1967	Sud-Ouest	Putih, Bebeng, Krasak	Putih : 9 km
Janvier 1969	Sud-Ouest	Lamat, Sat, Putih, Bebeng, Batang	Bebeng : 14 km
Juin 1984	Ouest	Batang, Putih, Krasak, Lamat	Putih : 7 km
Février 1992	Ouest	Sat	Sat : 4,5 km
Novembre 1994	Sud-Ouest et Sud	Bebeng, Krasak, Bedog, Boyong	Boyong : 6,5 km
Janvier 1997	Sud-Ouest et Sud	Bebeng, Krasak, Bedog, Boyong	Krasak : 6 km
Juillet 1998	Ouest	Lamat, Sat	Sat : 6 km
Juin 2006	Sud-Ouest ; Sud	Krasak, Boyong, Gendol, Bedog	Gendol : 7,5 km

Tableau 2. Directions privilégiées des écoulements pyroclastiques sur les flancs du Merapi, depuis 1961.
Source : Lavigne, 1998, mises à jour.

2.2. Les aléas au Merapi

Les produits pyroclastiques sont issus de la projection de magma qui peut prendre plusieurs formes :

2.2.1. Les retombées verticales

Les projections balistiques ont lieu lors des phases explosives du volcan quand se produit une expulsion de bombes qui, sur le Merapi, peuvent être des blocs ou des ponces. Lors des violentes éruptions magmatiques, elles peuvent être projetées à plusieurs kilomètres d'altitude. Sous forte pression de gaz, le magma peut être pulvérisé en fines gouttelettes qui, au contact de l'air, se solidifient aussitôt pour donner des lapilli et des cendres volcaniques. Ces retombées peuvent recouvrir de vastes étendues dans les régions situées sous les vents dominants (Fig. 9).

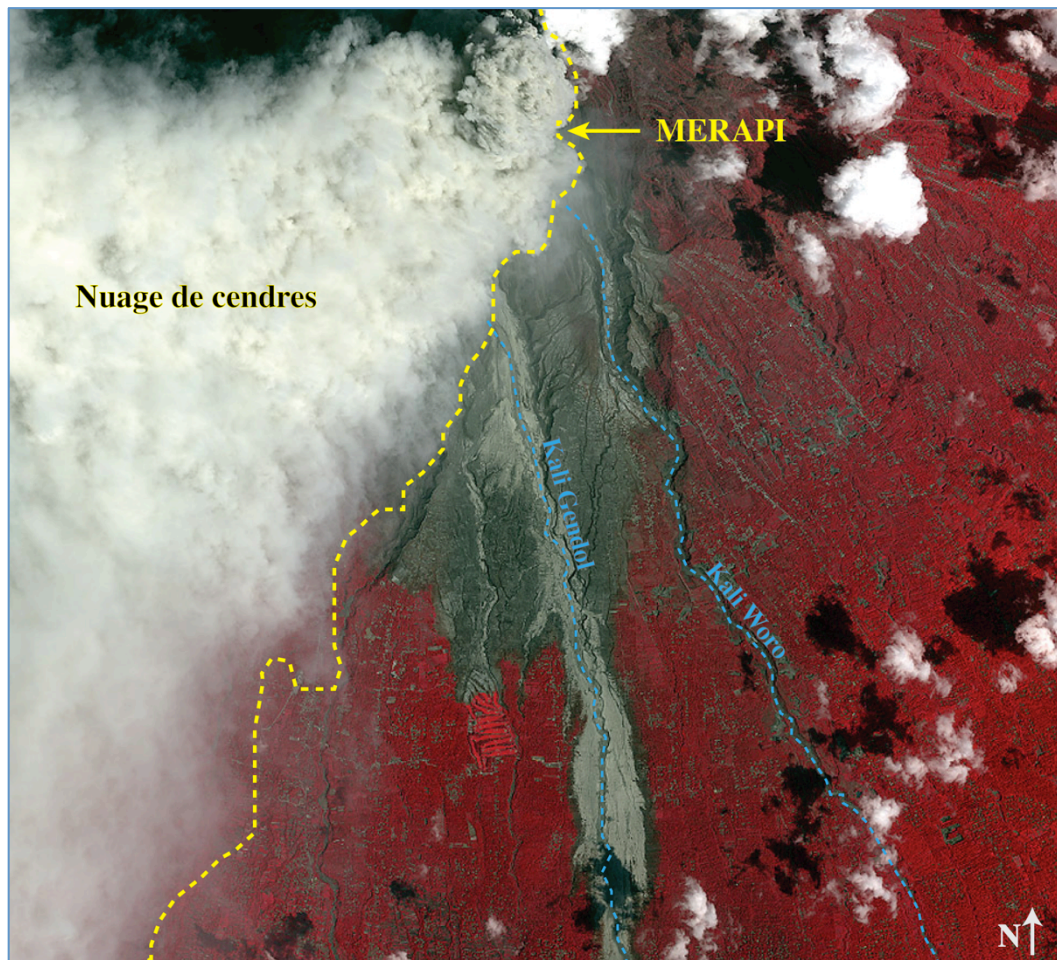


Figure 9. Nuage de cendres transporté par les vents à l'Ouest du Merapi.

Image satellite Digital Globe capturée le 11 novembre 2010,
gracieusement mise à disposition par J.C. Komorowski, IPGP.

Sur cette image en fausses couleurs, le rouge sombre représente la végétation et le plus clair le bâti ; les nuages apparaissent opaques et blancs ; le gris clair plus ou moins transparent montre un nuage de cendres soufflé par les vents dominants vers l'ouest) ; le gris foncé représente les dépôts de coulées et déferlantes pyroclastiques.

Certaines projections proviennent d'éruptions phréatiques, dues à la vaporisation de l'eau imprégnant l'édifice volcanique. Les eaux de pluie en s'infiltrant envahissent le conduit magmatique, produisant alors de violentes projections de cendres et de blocs de lave anciens, sans adjonction de magma « juvénile ».

D'autres produits de projections verticales sont émis par les éruptions phréatomagmatiques, qui mobilisent de la lave nouvelle qui se mélange à la vapeur d'eau.

2.2.2. Les écoulements pyroclastiques

Depuis la fin du premier millénaire, durant lequel eut lieu une éruption, sans doute paroxysmale, responsable de l'effondrement de la partie ouest du volcan (Van Bemmelen, 1949 et Neumann Van Padang, 1951), le Merapi manifeste une activité quasi-continue (Bardintzeff 1985) qui s'inscrit depuis deux siècles dans une succession de périodes de croissance lente du dôme et/ou de coulées dans le cratère sommital, entrecoupées de phases de destruction plus ou moins violentes (Bardintzeff 1998 ; Blake, 1990 ; Fink and Anderson, 2000). Lorsque le magma s'accumule, il crée un bouchon ou dôme, résultat de l'injection de magma dans l'encaissement. Ce dôme peut atteindre plusieurs centaines de mètres de haut et un volume de plusieurs millions de m³ ; ainsi lors de l'éruption de 2006 du volcan, il représentait trois millions de m³ et sa croissance a été estimée à 200 000 m³/jour. Quotidiennement, lors du développement du dôme, des blocs tombent de celui-ci, on les appelle *guguran* en indonésien.

La principale activité qui marque l'évolution de ce dôme résulte de son effondrement, qui produit des coulées pyroclastiques (Voight et al., 2000) ou écoulements pyroclastiques denses. Ces derniers prennent la forme de nappes incandescentes constituées d'une émulsion dense et très chaude de solides, liquides et gaz (Bardintzeff, 1985) ; le gaz restant très abondant rend la vitesse de déplacement de ces « nuées ardentes » très rapides sur les flancs des volcans. Les écoulements pyroclastiques sont produits à chaque éruption du Merapi, dont la récurrence est de 2 à 8 ans depuis le début du siècle (Thouret et al., 2000). Les plus récents avant l'éruption de 2010 ont eu lieu en 2006. Depuis 1900, la période de dormance la plus longue n'a pas dépassé 6 ans (1924-1930 et 1986-1992) et la plus courte seulement quelques mois (Lavigne, 1998).

Il existe trois types d'écoulements pyroclastiques au Merapi (Voight et al., 2000) :

- Le premier type correspond aux nuées d'avalanches dites de « type Merapi », qui représente 90% des nuées affectant le volcan (Fig. 10). Ces écoulements pyroclastiques sont causés par l'effondrement et la fragmentation d'un dôme de lave de plus en plus instable. La paroi du dôme sommital s'écroule partiellement (*guguran*), générant des coulées pyroclastiques (*awan panas*) de petit volume, qui ne parcourent que quelques kilomètres en suivant le plus souvent le cours d'une rivière. La plus longue coulée pyroclastique du 22 novembre 1994 a ainsi

atteint 6,5 km dans la rivière Boyong. Leur dépôt peut subir une destruction par explosion - peu violente - d'origine phréatomagmatique ;



Figure 10. Nuées de type Merapi.

Cliché : Tarko Sudiarno, 30 mai 2006.

- Le second type d'écoulements pyroclastiques correspond aux nuées ardentes d'explosion latérale de type péléen, générées par une surpression des gaz. L'exemple le plus connu de ce type d'écoulement a eu lieu sur la montagne Pelée en 1902. Elles sont caractérisées par une magnitude et une intensité moyenne - $IEV < 3$ - (L'IEV ou Indice d'Explosivité Volcanique est une échelle graduée de 0 à 8 qui évalue la violence des éruptions volcaniques). Ces éruptions sont associées à un dégazage brutal. Certaines peuvent être accompagnées d'une activité effusive au débit très important comme ce fut le cas au Merapi en 1930 et en 1961. Les produits pyroclastiques engendrés par les éruptions peléennes parcourent, sur les flancs des volcans, une distance variant entre 7 km (1954) et 13,3 km en 1961 dans le chenal de la rivière Batang. Pour ce type d'éruption, les phases explosives ne sont pas suivies immédiatement de la croissance d'un nouveau dôme.

Des éruptions violentes ($IEV \geq 3$) surviennent en moyenne tous les 25 ans (1930, 1954, 1961 et 1969 au XX^{ème} siècle) et tous les 50 ans pour les plus fortes d'entre elles, comme celle de 1930. La période de latence a duré 9 mois après l'éruption de 1930 et 7 mois après celle de 1961.

- Le troisième type d'écoulements pyroclastiques correspond à ceux générés lors des éruptions verticales. La phase paroxysmale de ce type d'éruption est caractérisée par l'effondrement d'un panache très haut de type subplinien ou plinien. L'écroulement de la colonne éruptive engendre des écoulements pyroclastiques de type « nuées St Vincent », qui sont canalisées dans toutes les vallées autour du volcan (Vincent et al., 1992) à une vitesse rapide (plusieurs dizaines de km/h). Le cône est souvent décapité et est remplacé par un vaste cratère à fond plat. L'éruption ne produit ni dôme, ni coulée de lave. Les éruptions verticales ont une récurrence d'environ un siècle. Avant celle de 2010, la dernière du Merapi eu lieu en 1872, précédée d'éruptions en 1587, 1672, 1768, 1823 et 1849.

Quelque soit le type d'éruption, les coulées pyroclastiques sont presque toujours accompagnées de déferlantes pyroclastiques, qui correspondent au nuage de poussières fines qui environne la coulée (*ash-cloud surge*). Elles peuvent atteindre des températures de plusieurs centaines de degrés. Parfois en plus de ces écoulements pyroclastiques, l'éruption peut produire des *blasts* ou « souffles pyroclastiques » qui sont des déferlantes pyroclastiques particulières se propageant sur une grande surface, de manière expansive et latérale (Komorowski, 2003). Ils se produisent lors de l'explosion d'un dôme ou d'un crypto-dôme, lors de l'effondrement sectoriel d'un volcan. Le souffle est constitué d'un mélange turbulent, très dilué, de fragments plus ou moins grossiers de magma solidifié et de gaz incandescents, accéléré jusqu'à des vitesses de $300 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, et dont la température peut atteindre 300 à 600 °C.

2.2.3. Les écoulements associés

• Les avalanches de débris

Les avalanches de débris sont des phénomènes rares sur le Merapi, mais des études géologiques montrent qu'il y en aurait déjà eu au moins deux dans le passé (Newhall et al., 2000). Ce type d'écoulement gravitaire est lié à l'effondrement d'un pan de volcan ; elles sont accompagnées d'un souffle latéral très rapide d'une grande force de destruction. Ces avalanches peuvent se propager à des dizaines de kilomètres de leur point d'émission.

• Les lahars

En Indonésie, le climat tropical est caractérisé par un fort contraste entre la saison des pluies et la saison sèche. À Java, la moyenne des précipitations annuelles est de

3 000 mm et plus de 80% de celles-ci sont enregistrées entre novembre et avril ; c'est lors de cette saison des pluies qu'est enregistré le plus grand nombre de lahars.



Figure 11. Le front du lahar du 17 février 2007, volcan Semeru, Java, Indonésie.

Photos capturées à partir d'images vidéo, A. Picquout février 2007.

F. Lavigne a consacré sa thèse aux lahars du Merapi entre 1994 et 1998. Il y définit un lahar comme une coulée de débris et/ou un écoulement hyperconcentré constituée de cendres et blocs d'origine volcanique, et d'eau, capable de s'écouler à vitesse rapide sur un volcan et son piémont (Fig. 11).

Les lahars peuvent être composés de plusieurs pulsations. La particularité des lahars est la densité de l'écoulement, celui-ci est constitué d'une faible proportion d'eau (<40% en volume) et de beaucoup de cendres, ce qui rend sa capacité de transport très élevée. On distingue deux types de lahars : les coulées de débris, dont la concentration sédimentaire excède 60 % en volume, et les écoulements hyperconcentrés dont la charge solide, plus faible, varie entre 20 et 60 % en volume (Vallance, 2000). Ces lahars peuvent transporter des

blocs pouvant atteindre un poids de plusieurs tonnes. La vitesse, les débits et la capacité des lahars sont très supérieurs à ceux des écoulements fluviaux (Lavigne et Thouret, 2000) en raison de leurs caractéristiques hydrodynamiques propres : ils s'écoulent par pulsations auxquelles s'ajoutent des mouvements ondulatoires transversaux ; leur vitesse, leur débit et leur capacité varient fortement en fonction de nombreux facteurs : charge solide, nature de la matrice, pente, rugosité du chenal,... Les lahars peuvent affecter l'ensemble des versants du volcan ou certains espaces plus spécifiques en fonction du stock de matériaux remobilisables en amont et du lieu et de l'intensité des précipitations.

Les lahars ont provoqué la mort d'au moins 20 000 personnes en Indonésie depuis trois siècles (Lavigne, 1998), notamment ceux qui furent générés par les volcans Awu (6 200 victimes en 1711 et 1856), Kelud (5 100 victimes en 1919) et Galunggung (4 000 morts en 1822).

2.3. Des aléas qui se combinent lors des éruptions

Hartmann en 1935 a classé les éruptions du Merapi en quatre types définis en fonction de cycles d'activité du volcan (Hartmann, 1935). M.T. Zen a repris ces travaux et classé les éruptions enregistrées entre 1768 et 1979 (Zen et al., 1980). Voight et al. (2000) reprennent à leur tour les travaux d'Hartmann en critiquant la difficulté de choisir un type d'éruption sans définir l'intensité de celle-ci. Ils proposent alors d'utiliser les Indices d'Explosivité Volcanique (IEV) pour mieux caractériser les éruptions du Merapi (annexe A).

Le tableau 3 présente cette classification : le type A correspond à une éruption constructive du dôme, très pauvre en gaz, qui est émise à partir d'une structure pré existante du dôme ; le type B montre une alternance entre construction et destruction, la proportion de magma est plus importante que celle de gaz, l'éruption est faiblement explosive (IEV 1 ou 2) et peut produire des coulées pyroclastiques ; le type C se caractérise par une alternance de destruction et de construction dont le magma est riche en gaz, l'éruption ne débute pas par de petites explosions mais directement par des explosions violentes (IEV 2 à 4) ; le type D correspond à une éruption paroxysmale, fortement saturée en gaz, marquée par la rupture de la colonne éruptive (IEV 3 ou 4 plus rarement IEV 5).

Cette classification demeure cependant discutable car il n'est pas évident de placer une éruption dans un type précis. En outre, il est difficile de savoir si la formation du dôme clôt ou précède un cycle et il est donc difficile de définir la fin d'une crise ou le début d'une nouvelle. La classification d'Hartmann est encore utilisée, comme le montre l'article de Voight et al. (2000), mais selon les auteurs les mêmes éruptions sont classées dans des catégories différentes bien que les auteurs utilisent la même typologie.

Type A	Type B	Type C	Type D	IEV	Victimes
1909-13				1	
1915				1	
	1920-23			2	23
1924				0	
	1930-31			3	1400
		1933-34		2	
1939-41				2	
	1942-45			2	
1948				2	
	1953-56			2	54
1957-59				1	
	1961			3	
	1967-69			2	
	1972-74			2	
	1976-79			2	
	1980-84			2	
1984-91				2	
1992-93				2	
	1994-98			2	63
	2006*			3	2
			2010*	4	349

Tableau 3 : Classement des éruptions du Merapi des 100 dernières années
selon la classification de Hartmann et Voight (2000).

* Données complétées par cette étude.

Ainsi, toutes les pentes du Merapi peuvent être affectées par les différents processus évoqués et ce à intervalles plus ou moins réguliers : localement, les lahars peuvent se

produire plusieurs fois par an dans une même vallée ; les coulées pyroclastiques peuvent s'écouler dans les chenaux des rivières et au delà lorsque des déferlantes précèdent ou bordent les écoulements, tous les 2 à 50 ans en fonction de leur type ; enfin les éruptions verticales centennales peuvent affecter l'ensemble des versants du volcan dans un rayon de plusieurs kilomètres.

Malgré ces nombreux aléas qui classent le Merapi au tableau des volcans les plus dangereux de la planète, le volcan est le plus peuplé du globe avec plus d'un million d'habitants qui vit sur ses flancs. Il est donc important d'étudier la vulnérabilité de ces populations nombreuses qui peuvent subir les effets du volcan.

3. Le contexte humain de l'étude

3.1. Un volcan densément peuplé

Connu comme l'un des volcans les plus actifs de la planète (Witham, 2005), le Merapi se situe au Nord de Yogyakarta dans la région centrale de la très peuplée île de Java (130 millions d'habitants), en Indonésie. Sur ses flancs, où vivent 1,3 million de personnes, la densité moyenne atteint 958 hab./km² (BPS 2010). De plus, la moitié de cette population, soit environ 687 000 personnes, vit dans une zone menacée par des coulées pyroclastiques et/ou des lahars couvrant une superficie de 422 km². Les éruptions du Merapi ont provoqué la mort de près de 7 000 personnes depuis le XVI^{ème} siècle (Thouret *et al.*, 2000). L'exposition est plus importante au fil des années du fait de l'augmentation de la densité de population sur le volcan qui est actuellement supérieure à 1 400 hab./km² sur les flancs ouest et sud du volcan. Le taux de croissance de la population a atteint jusqu'à 3% par an dans le milieu des années 1990 (Thouret *et al.*, 2000). D'après le recensement de la population de 2010, ce taux s'élève à 1,2% entre 2000 et 2010 dans le *kabupaten* Sleman. De tels taux de croissance sont caractéristiques de toute l'île de Java, où il est rapporté que la population a décuplé au cours du XX^{ème} siècle (Voight *et al.*, 2000). Du fait de cette augmentation rapide de la population, la pression sur les ressources naturelles de Java est considérable, ce qui conduit des régions marginales et dangereuses comme les flancs du Merapi à être habitées.

Les impacts sur les habitants de la région ainsi que les processus d'évacuation sont

donc de plus en plus importants, comme l'indique le tableau 4.

La croissance démographique en augmentation sur les pentes du Merapi a conduit à un accroissement substantiel du risque pour la vie humaine au cours du siècle passé (Wilson et al, 2007, Thouret et al, 2000, Voight et al, 2000). Les impacts des éruptions à travers le XX^{ème} siècle sont devenus de plus en plus dévastateurs, en dépit de l'explosivité généralement faible des éruptions. Le manque d'aménagement du territoire est également susceptible d'être un facteur contribuant à la vulnérabilité accrue de la population.

Année de l'éruption	IEV	Volume de matériaux éjectés (millions de m ³)	Victimes	Blessés	Personnes évacuées ou déplacées
1872	4		200		
1904	2		16	45	3 000
1920	2	5	35		1 000
1930	3	26	1 369		13 000
1954	2	20	64	57	3 000
1961	3	29,4	6	6	8 000
1994	2	3,5	64	500	6 026
1998	2			314	6 000
2006*	1	13,3	2		22 253
2010*	4	150	349	1 814	1 000 000
Sources	Voight et al., 2000	Lavigne, 1998	Witham, 2005 ; Mei et al., 2010		

Tableau 4. Caractéristiques et impacts des éruptions principales du Merapi depuis 1872.

*Les données pour 2006 et 2010 ont été complétées par cette étude.

En 1978 la carte des zones de danger du Merapi (Pardyanto et al., 1978) définit trois zones appelées «zone interdite», « zone de premier danger » et « zone de second danger » (Fig. 12). Ces zones sont utilisées dans des publications et par le personnel de gestion des urgences et sur la signalisation. Thouret et al. (2000) estiment que le nombre de personnes vivant ou travaillant dans la zone interdite a doublé en passant de 40 000 à 80 000 personnes entre 1976 et 1995. Depuis cette dernière date, aucune mise à jour de ce chiffre n'avait été faite jusqu'à cette étude : en 2010, le nombre d'habitants dans la zone interdite atteignait 89 767 personnes (Mei et al., 2010 ou données BPS, 2010).

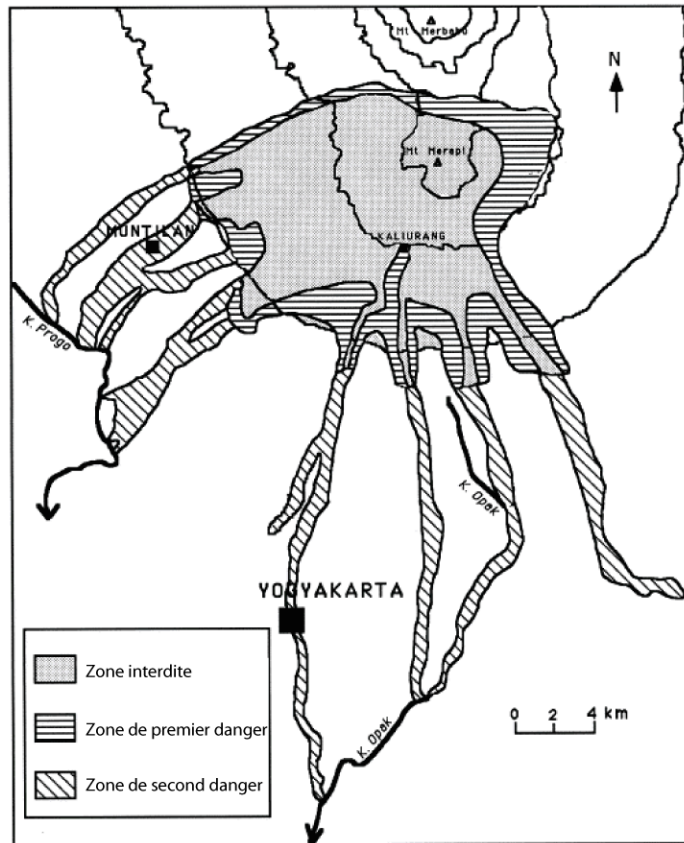


Figure 12. Carte des zones de danger de 1978.

Source : Pardyanto et al., 1978.

Le Merapi se situe à 25 km de la ville de Yogyakarta, capitale de la province qui porte le même nom et qui comptait plus de 430 000 habitants lors du recensement de 2010.

La densité de la population décroît en fonction de l'altitude (Fig. 13), mais dans la zone de danger (zone affectée par les retombées et écoulements pyroclastiques ainsi que par les lahars) celle-ci était encore de 826 hab./km² en 2010 (BPS, 2010). Dans la zone interdite (zone la plus touchée par les écoulements pyroclastiques), elle atteignait 571 hab./km² (Tab. 5). La croissance démographique est elle aussi très forte puisqu'elle a augmenté de 13,5% entre 1995 et 2010 pour les *desa* situés dans la zone de danger.

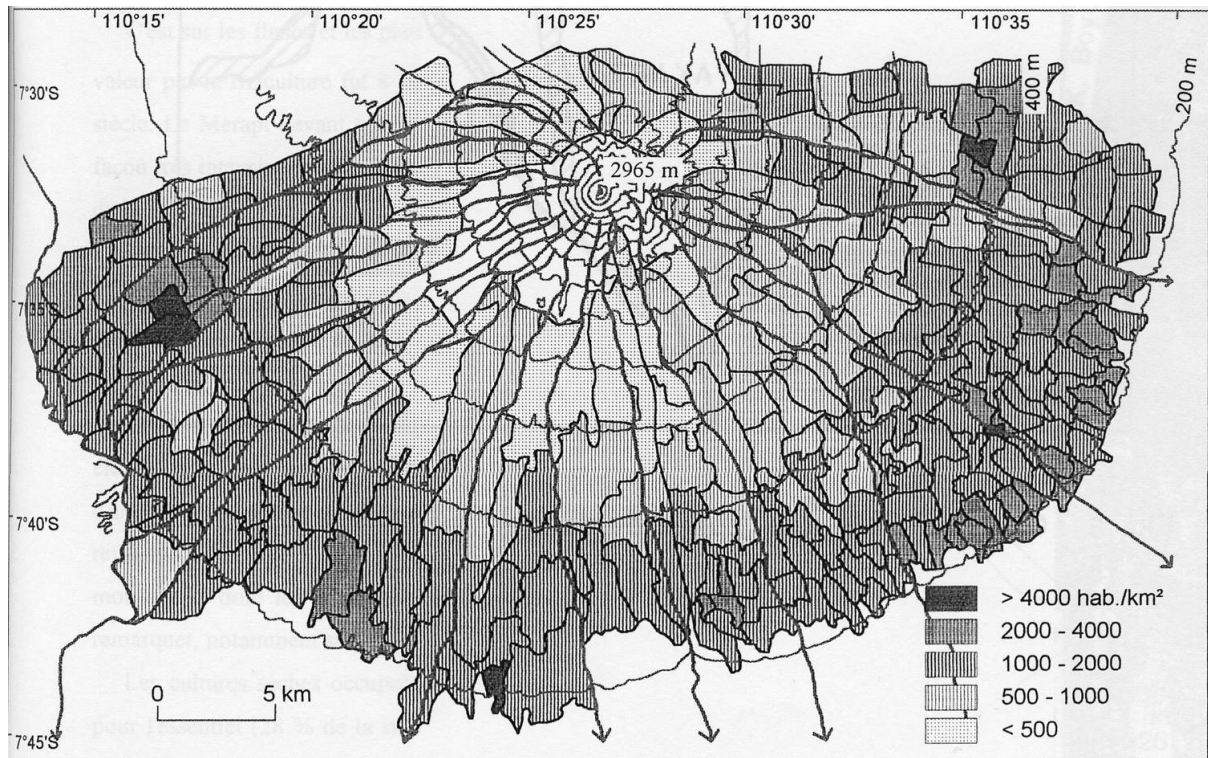


Figure 13. Carte des densités de populations sur le volcan Merapi (Lavigne, 1998)

	Nombre de villages	Superficie (en km ²)	Population en 1995	Densité de la population (hab./km ²) en 1995	Population en 2010	Densité de la population (hab./km ²) en 2010	Taux de croissance démographique (entre 1995 et 2010)
Rayon 20 km du sommet	245	864,6	932 750	1 091	1 086 598	1 271	16,5
Altitude >500m	89	374,5	258 191	689	280 740	749	8,7
Zone de danger	37	151,7	114 757	757	125 296	826	13,5
Zone interdite	32	157,3	79 074	503	89 767	571	9,2

Tableau 5 : Distribution de la population autour du Merapi en 1995 et en 2010 (Lavigne, 1998 et cette étude à partir des données BPS, 2010)

En 2010, la croissance démographique est essentiellement due à l'accroissement naturel, le solde migratoire étant négatif en raison des politiques de « transmigrations » du gouvernement qui proposent de déplacer des populations de régions surpeuplées vers des îles sous-peuplées de l'archipel (Sevin, 2008). En raison de la forte croissance démographique, ces chiffres nécessitent d'être mis à jour, cependant, aucune étude ne propose de chiffres récents. De plus la carte des densités de population (Fig. 13) pose un problème de maillage. Les villages situés en amont du volcan ont une forme allongée et sont très vastes, certains villages paraissent donc densément peuplés sur l'ensemble de leur surface alors que la concentration des habitations se trouve souvent en aval de ceux-ci.

Cette thèse propose donc d'établir une mise à jour de ces données anciennes et de faire une cartographie composée d'un maillage plus fin sur l'ensemble des zones à risque pour mieux étudier la vulnérabilité des populations.

Le type d'habitat prédominant est un habitat groupé, ceci avant tout pour des raisons culturelles (poids de la vie communautaire) et liées à l'accès à l'eau, dans ce terrain volcanique perméable. En Indonésie, le régime des terres est très complexe : si la propriété individuelle existe à Java Centre, la terre appartient le plus souvent au *desa* (commune), ou est sous son contrôle. Malgré le petit nombre de maisons (de 70 à 100) qui les composent, les *dusun* (villages) sur les flancs du Merapi occupent une grande superficie, de l'ordre de 0,4 km² en moyenne dans le *kecamatan* ou canton de Srumbung, car les bâtiments sont entourés de jardins (*kebun*) avec des rideaux de cocotiers ou de murets en pierres.

Afin de nourrir tous les habitants de cette région, les pentes du Merapi ont été déboisées et mises en valeur jusqu'à des altitudes de l'ordre de 1 500 m (Lavigne et Gunnell, 2006).

Le type de matériaux utilisés pour les constructions situées à l'intérieur des zones menacées est un critère important dans l'étude des dommages lors d'une catastrophe d'origine naturelle (Alexander, 1991). En 1995, la part tenue par les habitations en bambou sur les flancs du Merapi était très importante - près des 2/3 -, d'où une vulnérabilité importante de l'espace bâti (Lavigne, 1998). Ici, le choix du type de construction est dicté avant tout par le critère financier (une habitation en dur coûte trop cher pour ces populations rurales pauvres) et les matériaux disponibles (le bambou est très répandu et quasiment gratuit

sur les flancs du volcan). Cette vulnérabilité des bâtiments peut avoir de lourdes conséquences quand survient un épisode volcanique (Spence et al, 2007).

Aucun chiffre n'ayant été publié depuis quinze ans, une mise à jour de ces données est également nécessaire et sera proposée dans cette thèse.

L'agriculture est depuis toujours le secteur économique dominant sur les flancs du Merapi. C'est dans les plaines et sur les flancs autour du volcan que se trouve le cœur agraire de Java dont la mise en valeur par la riziculture fut à l'origine du brillant royaume de Mataram, qui s'épanouit du VI^{ème} au XI^{ème} siècle. Le Merapi doit aujourd'hui nourrir plus d'un million d'habitants et ses flancs sont mis en valeur de façon très intensive. Les cultures irriguées et les cultures sèches se partageant à part égale les 70 % de la S.A.U.

La riziculture irriguée (*sawah*), qui occupe 33 000 ha, est caractérisée par des rendements très élevés - les plus élevés du pays - atteignant jusqu'à sept tonnes par hectare (Wilson et al. 2007). Cette production est souvent le fruit d'une double, voire d'une triple récolte annuelle. Le riz est traditionnellement la culture préférée des agriculteurs du Merapi car elle est bien adaptée sur le volcan. C'est une culture à faible risque en raison de sa forte résistance aux parasites et qui nécessite peu de main d'œuvre une fois plantée (Wilson et al. 2007).

La plupart des habitants vivant sur les flancs du Merapi sont éleveurs d'ovins et de bovins, agriculteurs ou exploitants de matériaux de construction. La fertilité des terres assure chaque année un pâturage de qualité pour un bétail sain et des récoltes maraîchères suffisamment abondantes pour éviter toute famine (Texier et al., 2009). Les habitants qui vivent sur les flancs du Merapi épargnent peu, leurs seules ressources sont leur bétail et leurs cultures.

Chaque jour aussi, des centaines de personnes se rendent dans les zones à risques (Fig. 14). Pour nourrir le bétail, les éleveurs parcourent plusieurs kilomètres pour aller chercher des herbes (*rumpu*) là où elles sont abondantes et gratuites, dans la forêt qui se situe sur les hauteurs du volcan, surtout dans les zones où le risque est le plus fort. La forêt (Parc national du mont Merapi) attire également les autres villageois car elle est le plus important stock de bois - lui aussi gratuit - qui sert chaque jour à alimenter le foyer de la maison, source d'énergie principale pour cuisiner chez la plupart des habitants du volcan.



Figure 14. Une villageoise rapporte du fourrage du parc national du Merapi en marchant sur des dépôts d'une coulée pyroclastique de 2006.

Le sable déposé par les lahars est exploité par le secteur du bâtiment et fait vivre des dizaines de milliers de personnes. Chaque jour, les mineurs descendent par centaines dans les chenaux des rivières, exposés aux lahars, afin d'extraire le sable (De Belizal, 2012). Les autorités interdisent l'accès à ces zones dès le début de la reprise de l'activité du volcan, mais les exploitants continuent leurs travaux malgré les risques encourus. Des ouvriers sont postés en amont de la rivière à la frontière du parc national du Merapi, qui limite en théorie cette activité en amont. Ils surveillent l'arrivée éventuelle de lahars et préviennent le reste de l'équipe le cas échéant. Mais, les lahars, rapides, surprennent les exploitants et chaque année on déplore la mort de plusieurs ouvriers et de nombreuses pertes matérielles comme des camions.

Le lien entre les Javanais et leur environnement volcanique est très fort (Lavigne et al., 2008). Ils considèrent le village où ils vivent et la terre qu'ils cultivent comme un héritage de leurs ancêtres. Les habitants sont donc très attachés à leurs villages et c'est souvent la raison pour laquelle ils sont réticents à évacuer en cas de crise et pour laquelle ils rentrent rapidement après avoir été déplacés par les autorités locales. Cet attachement est également

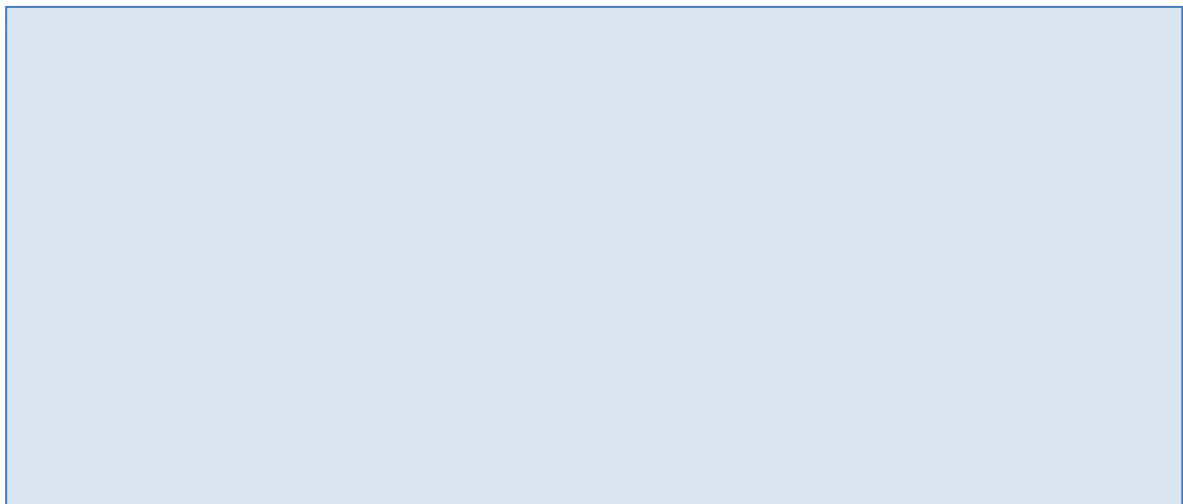
lié à de profondes croyances engendrées par les représentations mentales qu'ils ont du volcan. À Java, la représentation du monde est centrée sur le volcan et bien que la culture islamique domine aujourd'hui, les cultures anciennes multiples restent ancrées (croyances, mythes, cosmologie, hindouistes et bouddhistes, ...).

3.2. Un haut lieu culturel

3.2.1. L'« axe sacré » de Yogyakarta

La société indonésienne oscille constamment entre tradition - marquée par des croyances ancestrales qui consistent à entretenir le dialogue avec les puissances naturelles, large de la côte méridionale de Java. L'histoire raconte comment Senopati, le premier sultan du royaume de Mataram, par la prière et le recueillement, et notamment, plus à l'écoute des signes de feu. L'océan se mit à bouillonner et des milliers d'esprits dégringolèrent sur la terre, assommés par la force de la méditation. Loro Kidul en personne sortit alors de l'océan et apparut devant le sultan. Elle tomba aussitôt amoureuse de lui. Elle lui promit d'être éternellement sa maîtresse et celle de tous les sultans à venir, à condition que Senopati mange l'œuf du monde qu'elle lui tendait. Craignant que cet œuf ne le transformât à la manière de Loro Kidul en un esprit, Senopati le donna au jardinier de son palais qui se sacrifia pour son roi et le mangea. Le jardinier fut aussitôt métamorphosé en un esprit d'aspect monstrueux. Cette légende est composée de trois lieux sacrés Merapi et trois personnages clés, acteurs de la tradition javanaise au centre le Kraton de Yogyakarta, qui l'abrite de la capitale du royaume de Mataram. Depuis, chaque année, le jour de leur anniversaire, les sultans reconnaissent la nourriture, de la nourriture de Yogyakarta, qui l'abrite de la cérémonie d'offrandes au volcan Merapi qu'on appelle *Labuhan*. » (Le banian blanc, Elisabeth D. Prasetyo)

25 km au Sud du Kraton, la plage de Pagangkusumo, porte vers le royaume de la Déesse de la Mer du Sud, Loro Kidul.



Encadré 1. La légende fondant la dynastie du sultan Hamengkubuwono X.



Figure 15. Représentation de l'axe sacré de Yogyakarta et de ses trois personnages spirituels

Hamengkubuwono X est le sultan actuel. Il est le descendant de Senopati, le sultan de la légende (Encadré 1). Son nom signifie « celui qui porte l'univers », nom que portent les sultans depuis le début de la dynastie qui a commencé au XVIII^{ème} siècle. D'après les textes sacrés, il a été « choisi par la volonté divine » et « son couronnement est précédé d'un message spirituel ». Selon la coutume, le sultan de Yogyakarta est le gouverneur de la province spéciale de Yogyakarta. C'est un homme d'affaires qui rompt avec les traditions, très loin du portrait officiel qui le montre en habit de cour javanais. Musulman progressiste, diplômé en droit et prônant le développement économique de sa province, il déclare

ouvertement qu'il ne croit pas aux esprits habitant le Merapi et estime qu'« on ne peut pas bâtir une grande nation sur des mythes pessimistes » (National Geographic France, 2008).

De plus en plus d'habitants de Yogyakarta accusent Hamengkubuwono X de transformer la capitale culturelle en une « enfilade de centres commerciaux et de passer beaucoup trop de temps sur les terrains de golf » (National Geographic France, 2008). Il déserte les cérémonies traditionnelles, comme ce fut le cas en 2006 où son absence à la bénédiction des offrandes pour la cérémonie de *Labuhan* lui a valu de vives critiques.

Lors du séisme du 27 mai 2006, le *kraton* de Yogyakarta et le cimetière royal furent touchés, ce qui a immédiatement été interprété par la population comme un signe de mauvais augure. En outre, les habitants furent mécontents du temps que mirent les aides à arriver aux sinistrés. Le personnel du *kraton* décida donc d'organiser le rite annuel des offrandes sans le sultan, expédiant celles-ci au Merapi, dans le village de Kinahrejo, lieu de résidence de Mbah Marijan (l'ancien gardien des clés du volcan) et de ses ancêtres, ainsi qu'à la plage de Parangkusomo où l'ancêtre du sultan a, selon la légende, rencontré la déesse des mers du Sud.

Le *juru kunci* est une personne très populaire sur les flancs du Merapi. On pense qu'à l'origine il n'y avait pas de « gardien » mais plutôt des ascètes réfugiés sur le volcan, car ils étaient plus animistes que musulmans. Vivant et méditant sur les hauteurs du volcan ces sages ont progressivement été connus et respectés.

Au Merapi, le titre de *juru kunci* est décerné par le sultan de Yogyakarta. Il existe un lien de parenté plus ou moins éloigné entre les *juru kunci*. Le dernier en date est le fils du célèbre Mbah Marijan. La mémoire collective, les écrits et toutes les histoires contées par Mbah Marijan ne remonteraient qu'à quatre générations de gardiens vivant à Kinahrejo. En observant les dépôts de coulées pyroclastiques des cent dernières années on s'aperçoit que le village de Kinahrejo a été touché par les écoulements pyroclastiques de 1911, ainsi toute la tradition autour du *juru kunci* telle que la mémoire collective la connaît remonterait à seulement 100 ans (Elisabeth D. Inandiak, comm. pers.).

Le rôle initial des *juru kunci* était, comme son nom l'indique, de garder le volcan. Jusqu'en 1994, on montait sur le volcan par le flanc Sud, par un chemin que le gardien devait entretenir. Avant de commencer leur ascension, les visiteurs devaient s'inscrire sur un livre

que tenait le gardien. Si les randonneurs ne revenaient pas, c'était à ce dernier d'aller les

chercher. Le second rôle des *juru kunci* était et est toujours de conduire la cérémonie

« Selon le calendrier lunaire, la date de l'anniversaire de l'actuel sultan, Hamengku Buwono X, tombait cette année le 24 du *Labuhan* (Encadré 2). Pour toutes ces tâches, le gardien reçoit une indemnité symbolique de 5 600 Rp (0,4 euro) par mois du *kraton* de Yogyakarta. »

Le sentier longe à présent un abîme creusé par un torrent de lapilli et de boue. Sur l'autre versant, la forêt a été calcinée par les nuées ardentes du mois de novembre. La colonne s'arrête enfin à près de 2000 m d'altitude sur une étroite corniche dressée d'un grand hôtel de pierre. Les offrandes sont extraites des paniers et disposées sur la pierre. Ibu Pujowiyono, la médium du village prépare l'encens, les pétales de rose et de jasmin, les pièces de monnaie... Un vent froid soudain se lève transportant des brouillards qui noient tout. Le volcan gronde, tout près, une ébullition sourde et minérale. mBah Maridjan n'a pas prononcé la prière rituelle que déjà il allume une cigarette au clou de girofle. Son regard habituellement rieur et rusé est tendu. En tant que *juru kunci*, c'est à dire gardien des clés du volcan il est responsable de la sécurité de tous les participants à la procession. Si le volcan entrait soudainement en éruption, cela donnerait raison au maire de la région, qui la veille encore trait les offrandes de superstition diaboliques et demandait aux villageois de choisir entre le gouvernement qui leur propose de transmigrer et Satan qui leur dit de rester. »

(*Le banian blanc*, Elisabeth D. Prasetyo)

Encadré 2. La cérémonie du *Labuhan* dirigée par le *juru kunci*

Avant la dernière éruption du Merapi, en 2010, le *Juru Kunci* était un vieux paysan de 81 ans qui vivait simplement dans sa maison située près de la mosquée du petit village de Kinahrejo. Mbah Marijan avait été nommé *Juru Kunci* en 1982 par le sultan Hamengkubuwono IX, le père du sultan actuel. Musulman pieux, Mbah Marijan était le plus connu et le plus respecté, il faisait partie des guides spirituels (*penghulos*) de l'île de Java.

Contrairement à la croyance populaire, le gardien du volcan n'est pas doté de pouvoirs magiques et ne communique pas avec le volcan mais c'est un autre personnage, méconnu, une chamane nommée Bo Pujo qui serait dotée de pouvoirs. Contrairement au *juru kunci* qui est nommé par le sultan lors d'une cérémonie et qui a des responsabilités bureaucratiques et officielles, la chamane n'est pas nommée par le *kraton* mais, reçoit le don du flux magique à sa naissance. Son rôle est de préparer les offrandes pour les cérémonies ou pour apaiser le volcan. Elisabeth D. Inandiak explique que « lors de ses cuisines, les préparations d'offrandes destinées à la force et au volcan, Bo Pujo rentre parfois en transe ». Bo Pujo, était très proche de Mbah Marijan, chaque jour à ses côtés, et toujours présente lors

des cérémonies. Son mari Pak Pujo était le conducteur du cheval sacré qui apportait les offrandes lors de la cérémonie du *Labuhan*, également très proche du gardien du volcan. Il comprenait le sens du *Labuhan*, ayant accompagné Mbah Marijan durant de nombreuses années.



Figure 16. Le très médiatisé Mbah Marijan. Cliché Pak Blontank, 2006.

Mbah Marijan est devenu un personnage très médiatisé (Fig. 16) et populaire dans toute l'Indonésie. Afin de récolter des fonds pour aider ses voisins pauvres de Kinahrejo, il avait accepté de jouer dans une publicité télévisée comique pour *Kuku Bima*, une boisson énergétique, aux côtés du champion de boxe d'Indonésie.

En 2006, lors des premiers signes de reprise de l'activité du Merapi annonçant une éruption imminente, un conflit éclate entre le Sultan de Yogyakarta et le *juru kunci*.

Le sultan qui exerce également la fonction de gouverneur de la province spéciale de Yogyakarta est responsable de la sécurité de ses administrés, il suit les recommandations des scientifiques. Quand ces derniers évoquent une reprise de l'activité du Merapi, le sultan s'empresse de faire des déclarations dans la presse régionale et nationale et incite les populations à se préparer à une éventuelle évacuation. Dès que l'activité s'intensifie, il multiplie les déclarations demandant aux habitants d'évacuer.

Alors que les populations sont en train d'évacuer, Mbah Marijan annonce dans la presse qu'il n'évacuera pas, il explique qu'il a un rôle à jouer et qu'il doit être présent chez lui, à Kinahrejo, au cas où quelqu'un aurait besoin de lui sur le volcan. Il fait des déclarations

dans la presse pour dire qu'il restera mais qu'il demande aux habitants du volcan de ne pas suivre son exemple. Sa récente médiatisation fait que tous les journalistes s'intéressent à ses déclarations. Le Sultan Hamengkubuwono X, son régent, lui ordonne de quitter Kinahrejo mais le gardien refuse en lui répondant via un article de presse. Il s'en suit une série de courriers par presse interposée entre d'une part le Sultan qui demande et ordonne à Mbah Marijan de quitter le village et de se rendre à Yogyakarta, et d'autre part le gardien qui refuse en lui faisant affront. Ce dernier déclare que c'est Hamengkubuwono IX qui l'a nommé et non le sultan actuel et qu'il ne souhaite pas obéir à celui-ci. Marijan estime, comme des milliers de personnes, qu'il a le devoir de célébrer des rituels afin de protéger les habitants du volcan.

Pour lui, les éruptions du Merapi montrent que le volcan se porte bien puisqu'il s'accroît. Les cendres qu'il « crache » apportent le bonheur aux populations voisines du volcan en fertilisant les sols. Un arrêt de l'activité du volcan serait catastrophique pour tous les agriculteurs. Ces derniers redoutent que cela se produise si le gouvernement continue de permettre aux hommes d'affaires de dépouiller le volcan de millions de mètres cubes de roche et de sable alors que les aides pour les populations du volcan disparaissent dans la corruption. Malgré l'insistance du Sultan, Mbah Marijan ne part pas, de nombreux journalistes restent au côté du *juru kunci* pour relayer l'information et toute l'Indonésie suit l'histoire à la manière d'une émission de télé-réalité. La chamane Bo Pujo n'est pas partie non plus ; elle cuisinait, en transe, préparant des offrandes pour apaiser le volcan. Elle savait ce qu'il fallait faire lors de l'éruption, comment le faire et pourquoi. Certains habitants de Yogyakarta et ceux qui vivent sur les flancs du volcan sont partagés entre le sultan moderne et le gardien à la fois mystique et populaire, ce qui pose des problèmes au niveau de la perception et par conséquent de la gestion du risque volcanique.

Finalement les coulées pyroclastiques de 2006 ont épargné le village de Kinahrejo et son gardien. Elles ont suivi le cours de la rivière Gendol et n'ont fait que deux victimes, réfugiées dans un bunker. Au Nord du village, les coulées pyroclastiques se sont arrêtées à quelques mètres de l'enclos du « Banian Blanc » et de la « Pierre Eléphant », deux symboles mystiques de la tradition javanaise, ce qui renforça les croyances autour de l'immunité du village de Kinahrejo.

3.2.2. Traditions et religions au Merapi

La complexité des multiples courants spirituels joue un rôle dans les comportements des habitants. Chaque volcan est chargé de croyances et de légendes. Dans la cosmologie

javanaise, l'océan Indien est le royaume de Ratu Kidul (la déesse de la Mer) qui est considérée comme influente sur les activités du Merapi. Les *Wayang Kulit*, marionnettes d'ombres traditionnelles javanaises mettent en scène de nombreux personnages dont la célèbre *Gunungan* ou *Kayon* (Fig. 17) représentant une montagne imaginaire. Cette marionnette a deux visages opposés représentant les deux faces du volcan (la vie et la mort) nommées en javanais par un seul mot : *korban* qui signifie à la fois victime et sacrifice. Les Javanais n'interprètent pas la mort et la destruction avec la connotation négative que ces mots ont en Occident. C'est une « destruction régénérative » dont l'acceptation ne doit pas être interprétée comme une fatalité ou une impuissance des Humains face à la Nature mais comme un signe d'humilité des Humains dans leur recherche de la paix et de l'harmonie (Boomgaard, 2003 ; Lavigne et al., 2008).



Figure 17. Le *Kayon* représente l'arbre de vie et l'arbre de mort.

Comme dans l'ensemble de Java, les religions non-islamiques de la zone d'étude sont minoritaires : on compte 27 fois plus de mosquées que d'églises ou de temples. Il est toutefois intéressant de remarquer que les flancs du Merapi concentrent près du tiers des églises et des temples du *kabupaten* Magelang, pour seulement 15,8% des mosquées. C'est un héritage de

l'histoire javanaise, les minorités ethniques et/ou religieuses comme les Baduis (Java-Ouest) ou les Tengger (Java-Est) ayant trouvé refuge dans les montagnes pour échapper à l'islamisation.

Du fait de la forte pression démographique, les densités rurales sont exceptionnellement élevées (plus de 1 000 hab./km²), le niveau de vie des habitants est bas sur le volcan et cette situation sociale précaire est un facteur majeur de vulnérabilité lorsque survient un événement catastrophique. De plus, le contexte culturel particulier joue sur la perception du risque des habitants. Tous ces éléments cumulés sont des facteurs de vulnérabilité qui influent fortement sur le comportement des populations en temps de crise ; c'est ainsi que les exploitants de sable ne souhaitent pas arrêter de travailler, affirmant qu'ils connaissent mieux le volcan que les scientifiques qui vivent en ville à une trentaine de kilomètres de celui-ci, et ne le voient jamais. Pourtant le Merapi est l'un des volcans les mieux surveillés au monde, grâce à de nombreux acteurs qui interviennent dans la gestion du risque, et aux équipements de pointe provenant de collaborations internationales.

3.3. Les acteurs de la gestion et de l'aménagement du Merapi

En Indonésie, l'adaptation aux risques naturels ne dépend pas uniquement des moyens scientifiques mis en œuvre par le gouvernement. En raison du contexte particulier du pays - fortes densités de populations, poids de la tradition et de la religion et faible développement du pays (éducation et économie) - la capacité à faire face aux crises dépend surtout de l'organisation sociale et politique dans des zones exposées, ainsi que de la prévention des risques, qui vont jouer un rôle majeur dans le bon déroulement des évacuations.

3.3.1. Les organismes de coordination et de décision

En Indonésie, la gestion des risques s'appuie sur deux organismes de coordination : l'agence nationale et l'agence régionale de la gestion des catastrophes.

• Le BNPB

Au niveau national le *Badan Nasional Penanggulangan Bencana* ou BNPB (Agence nationale de la gestion des catastrophes) a été établi en 2008. C'est un organisme

interministériel, qui ne dépend pas d'un seul ministère mais dont la direction est composée de huit ministres, de la police nationale, de l'armée, de hauts fonctionnaires et de professionnels représentants de communautés. Le directeur du BNPD est directement nommé par le Président de la République Indonésienne et il a pour devoir de lui rendre compte de la situation directement.

Le BNPB a récemment remplacé le BAKORNAS PBA. Il a pour mission de:

- fournir des conseils et diriger la gestion de crise lors de catastrophes naturelles, ce qui inclut la prévention des risques, la gestion de la réponse d'urgence, la réhabilitation et la reconstruction de manière juste et équitable pour les populations sinistrées ;
- fournir, pour la gestion des catastrophes, l'aide nécessaire pour les opérations standard en suivant la loi ;
- communiquer des informations sur les activités de la gestion des catastrophes au grand public ;
- signaler les opérations de gestion des catastrophes au Président de la République, une fois par mois en situation normale et à n'importe quel moment en situation d'urgence si une catastrophe a lieu ;
- gérer les dons et l'aide reçus nationalement et internationalement ;
- tenir compte de l'utilisation des budgets provenant du budget de l'Etat indonésien ;
- mettre en œuvre d'autres obligations conformément à la réglementation de la loi ;
- établir des directives pour l'Agence régionale de la gestion des catastrophes.

En 2011, le budget du BNPB s'élevait à 812 milliards de Rupiah (68 millions d'euros), dont 17 milliards étaient financés par des subventions étrangères (*Era Baru News*, 4/11/2011).

• Le BPBD

Au niveau régional et provincial, c'est le BPBD, *Badan Penanggulangan Bencana Daerah* (Agence régionale de la gestion des catastrophes), remplaçante du SATKORLAK, et basée dans les *kabupaten* et dans les capitales de provinces, qui gère et coordonne la gestion des risques.

Le BPBD régional est le principal responsable du système car il est en charge de mettre en place :

- les plans de gestion des risques ;

- les plans de réduction des risques ;
- l'intégration et le développement des plans ;
- l'analyse des risques et des besoins ;
- l'éducation et la formation ;
- les exigences techniques pour la gestion des catastrophes ;
- les plans d'évacuations, l'organisation, les moyens d'alerte ;
- les évacuations et les sauvetages (ressources humaines, équipements, logistique,...) ;
- la coordination du rétablissement post-crise.

Le plan de gestion des risques est établi pour une période de cinq ans et mis à jour tous les deux ans ou à chaque fois qu'une catastrophe a lieu. Le directeur des BPBD rend compte de ses activités auprès du directeur du BNPB.

Les financements des BPBD proviennent du BNPB et des gouvernements régionaux qui possèdent un budget pour la gestion des risques. Ce budget est variable selon les *kabupaten*, en fonction de leur exposition aux aléas naturels. Le BNPB et le BPBD organisent au minimum deux réunions de coordination par an.

2.3.2. Les organismes de consultation : responsables scientifiques et techniques

Deux organismes interviennent dans la planification préventive des risques associés au Merapi (Fig. 18). Le BPPTK dépend du CVGHM (*Center of Volcanology and Geological Hazards Mitigation, ex-Volcanological Survey of Indonesia*), rattaché au ministère des Mines et de l'Énergie. Cet organisme est chargé de la surveillance des volcans indonésiens et de l'alerte en cas d'activité éruptive. Il est constitué d'une équipe d'une soixantaine de personnes et dispose de matériel récent, acquis grâce à la coopération internationale (France, Etats-Unis, Japon et Allemagne notamment).

Kementrian Pekerjaan Umum (Ministère des Travaux Publics), appelé plus communément « P.U. », a été créé à la suite de l'éruption dévastatrice du Merapi de 1969. C'est un organisme d'aménagement basé à Jakarta et qui possède des antennes pour chaque province du pays.

Il a une triple vocation :

- la protection des espaces cultivés et des habitants contre les menaces de lahars ;
- la réparation des structures d'irrigation détruites par les lahars ;

- l'étude, la création et la mise en œuvre de structures de contrôle des lahars.

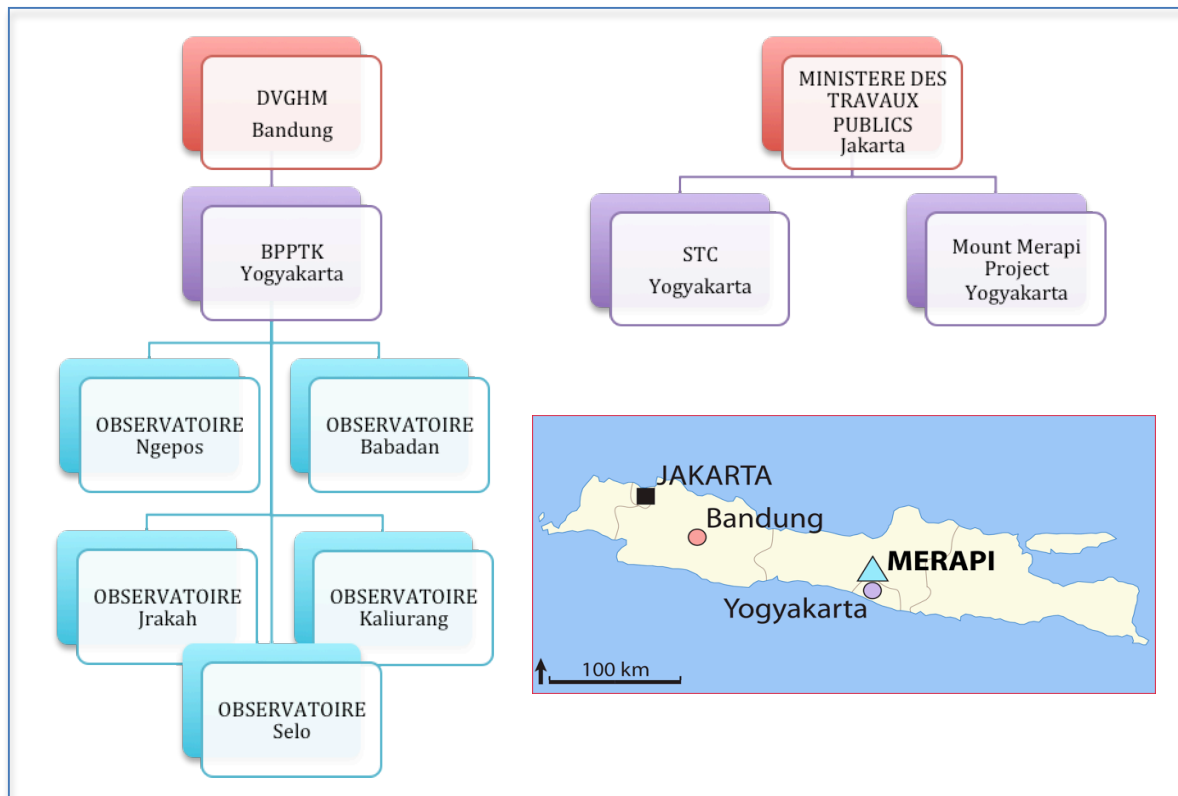


Figure 18. Organigramme des organes de surveillance du Merapi.

• Le BPPTK

Branche locale du CVGHM, le BPPTK (*Balai Penyelidikan dan Pengembangan Teknologi Kegunungapian*, centre de recherche et de développement technologique des volcans) recueille en permanence depuis Yogyakarta l'ensemble des informations volcanologiques et géophysiques transmises par les observatoires du volcan et les réseaux instrumentaux. Cinq petits observatoires surveillent en permanence le Merapi. Ils sont implantés sur les flancs du volcan, à Kaliurang, Babadan, Ngepos, Jirakah et Selo (Fig. 19). Des scientifiques se relaient jour et nuit pour observer et mesurer l'activité du volcan : sismicité, météorologie, données pluviométriques et géochimiques, observations visuelles au sommet. Ils transmettent quotidiennement ces données au BPPTK, par radio, téléphone ou fax.

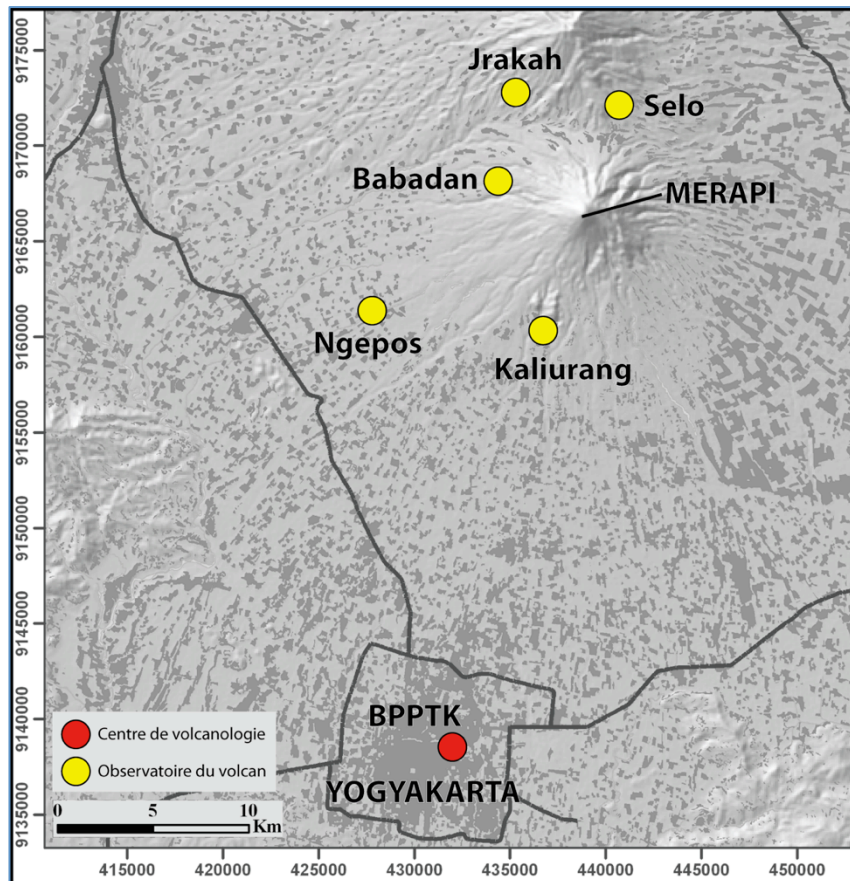


Figure 19. Carte de localisation des observatoires du Merapi et du BPPTK.

Pour les activités de prévention, le DVGHM s'appuie sur le BPPTK. Il se concentre sur la détection et la prévention des phénomènes volcaniques. Leur intérêt pour les aspects sociaux se limite à des activités de formation et de sensibilisation aux risques volcaniques auprès des populations locales.

• Le Mount Merapi Project

Le Mount Merapi Project exerce le contrôle des lahars par la technique japonaise du SABO, barrages de retenue (Lavigne, 1998). Cette technique permet de réduire la production de sédiments, grâce à des *check dam* en amont des vallées et des *consolidation dam* en aval et de contrôler le transport des sédiments grâce aux *sand pocket* ou capteurs de sédiments et aux murs de protection.

Les techniques du SABO ont été largement répandues en Indonésie à partir de 1969. De 1969 à 1985, plus de 150 *sabo dams* ont été construits sur les flancs de cinq volcans actifs. Au total, environ 56,5 millions de m³ de dépôts de lahars ont pu ainsi être contrôlés sur une superficie de 5 500 km² (Lavigne, 1998).

Ces barrages sont très efficaces lors de petites éruptions du Merapi ; ils bloquent alors les premiers gros lahars en piégeant les matériaux les plus volumineux et ralentissent les lahars suivants. Une fois les *sabo dam* comblés par les matériaux (Fig. 20), ils continuent de jouer un rôle de ralentisseur de petits lahars, mais ils surélèvent le lit des cours d'eau et, par conséquent, réduisent la hauteur des berges ce qui facilite les débordements des écoulements pyroclastiques (Lube et al., 2011) et des gros lahars.

Aujourd'hui la construction de SABO a été ralentie, notamment à cause des critiques émises concernant l'effet qu'ils ont lorsqu'ils sont placés dans des couloirs d'écoulements pyroclastiques. Les SABOS, une fois comblés par des matériaux volcaniques et situés dans des vallées fortement exposées aux coulées pyroclastiques, ont pour effet d'accélérer ces dernières et d'agir à la façon d'un tremplin.



Figure 20. SABO comblé par des dépôts de lahars à la suite de l'éruption de 1994, ralentisseur de lahars mais devenu tremplin pour les écoulements pyroclastiques.

Cliché : F. Lavigne, décembre 1994 et mars 1995

- Le Sabo Technical Center (STC)

Localisé près de l'aéroport de Yogyakarta depuis 1985, le STC est plus spécialisé dans la prévention contre les lahars. Il a équipé les vallées les plus dangereuses du Merapi (ex : *kali Putih*, *kali Bebeng*..) d'appareils de surveillance modernes fondés sur la télémétrie et d'un radar météorologique. Cette approche sophistiquée double ainsi la surveillance traditionnelle du volcan. Toutefois, l'observation visuelle n'est pas pour autant abandonnée car d'une part, les systèmes télémétriques sont susceptibles de se briser et le radar n'est plus utilisé depuis 1995 ; et d'autre part, toutes les vallées ne sont pas équipées de ces systèmes qui coûtent très cher : leur prix d'achat est élevé, mais aussi leur entretien et leur réparation.

3.4. Les organismes d'intervention en cas de crise

3.4.1. La protection civile

La protection civile indonésienne, qui se nomme HANKAMNAS (Défense Nationale et Système de Sécurité) est divisée en deux secteurs :

- la défense militaire (TORHANMIL) regroupe les forces armées (ABRI), les forces de "Résistance Populaire" (WANRA), constituées de civils souhaitant contribuer à la défense nationale, et les forces de sécurité (KAMRA) ;
- la défense civile (TORHANSIP) comprend l'ensemble des membres de l'administration civile.

Elle dépend du Ministère de l'Intérieur au niveau national, qui délègue ses pouvoirs aux gouverneurs de provinces (Fig. 21). Chaque province est découpée en districts (*kabupaten*), dirigée par un *bupati* (équivalent du préfet). Ces districts sont divisés en *kecamatan* (division administrative de quelques dizaines de km², équivalente à nos cantons), dirigés par les *camat*. Les chefs de communes (*desa*) dirigent quant à eux la Protection Civile à l'échelle locale. Chaque *desa* comprend un bourg principal et quelques villages ou hameaux voisins (*dusun*). Le *desa* est l'unité administrative de base, les études statistiques officielles sont réalisées à cette échelle, mais l'unité de peuplement est le *dusun*. Il existe deux autres subdivisions, le RT et le RW qui correspondent à des blocs de maisons ou à un quartier à l'intérieur d'un *dusun*, régies elles aussi par un responsable mais ces derniers n'ont pas de rôle officiel administratif.

Toutes ces échelles rendent les manipulations des données statistiques locales difficiles.

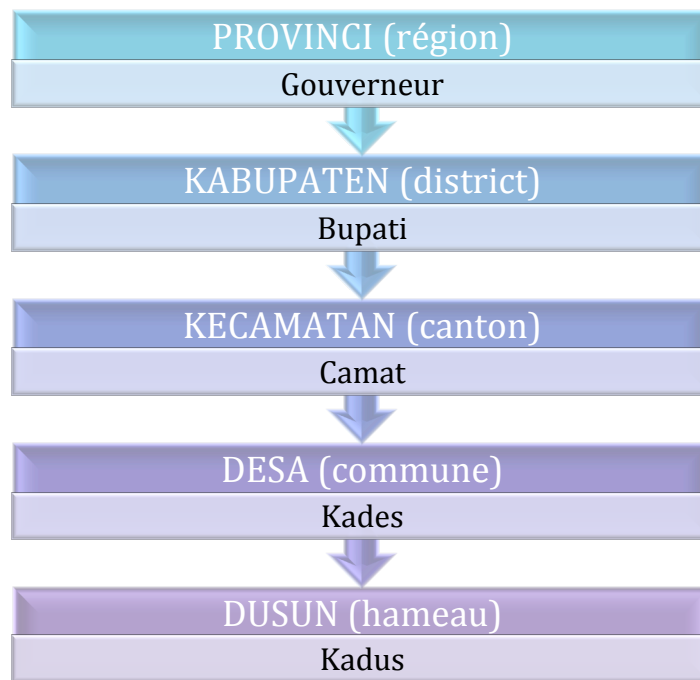


Figure 21. Organigramme des divisions administratives et titre de leur responsables.

D'après le décret présidentiel n°55 de 1972, la mission de la Protection civile est de :

- préparer, former et mobiliser la population afin de réduire les effets des catastrophes naturelles, industrielles ou des guerres ;
- maintenir le moral des habitants en toutes circonstances, en particulier en état d'urgence ;
- contribuer aux opérations gouvernementales, au maintien de l'ordre et au bien-être général de la population.

3.4.2. Les services sociaux

Le Département des Affaires Sociales (*Dinas Tenaga Kerja, Sosial, dan Keluarga Beancana*) travaille en collaboration avec le BPBD. Il fournit la nourriture aux villageois évacués en cas de catastrophe (300 g de riz par jour et par personne) et a également comme responsabilité de s'occuper de la logistique pour les camps de réfugiés. Chaque division de *kabupaten* a un budget différent pour sa gestion des risques (Tab. 6). Sur le Merapi, le plus important est celui de Sleman qui emploie plusieurs milliers de personnes et dont le budget avoisine les 15 milliards de rupiah (1 250 000 euros).

	Sleman	Magelang	Klaten	Boyolali
Employés par département				
Management et coordination	1 200	67	80	N/a
Sécurité	N/a	408	600	N/a
Santé	1 329	343	226	N/a
Evacuations	N/a	806	274	N/a
Gestion des camps de réfugiés	N/a	200	400	N/a
Communications	N/a	347	120	N/a
Logistique	N/a	57	120	N/a
Cuisines	N/a	800	420	N/a
Nombres de camps de réfugiés	19	41	4	N/a
Budget	14 943 711 200 Rp.	N/a	10 754 077 500 Rp.	N/a

Tableau 6. Les départements des affaires sociales des *kabupaten* du Merapi en chiffres.

Source : *Contingency plannings* du Merapi, 2009.

3.5. Organisation de la gestion de crise

Les centres de volcanologie CVGHM et BPPTK sont en charge de l'évaluation et de la surveillance des risques volcaniques. Ils publient une carte des zones de dangers établie en prenant compte des éruptions qui ont eu lieu ces 100 dernières années. À partir de l'étude des dépôts des écoulements pyroclastiques et des lahars, les centres de volcanologie déterminent des zones considérées comme dangereuses ou interdites, uniquement en prenant compte des aléas et non de la vulnérabilité des populations. La carte réglementaire des zones de danger (Fig. 22) établie par le CVGHM fait apparaître trois secteurs délimités par trois couleurs qui correspondent aux zones les plus menacées par le volcan :

- la zone rouge, *Kawasan Rawan Bencana* (KRB) III, est la zone interdite. Elle entoure le volcan et est de loin la zone la plus touchée par les écoulements pyroclastiques de type Merapi et par les retombées basaltiques. En 1995, 79 100 personnes vivent dans cette zone (Lavigne, 1998) ;
- la zone rose, *Kawasan Rawan Bencana* II, est la zone de danger potentiellement affectée par des retombées et des écoulements pyroclastiques plus véloces. Sa population avoisinait les 115 000 personnes à la même époque ;
- la zone jaune, *Kawasan Rawan Bencana* I, est située en périphérie des zones précédentes et notamment aux abords des vallées. Sa topographie basse la rend très vulnérable aux effets des lahars.

Un plan de contingence est en place au Merapi. Créé par le gouvernement pour la gestion des catastrophes naturelles, sa coordination est interministérielle.

La surveillance de l'activité du volcan est assurée par le BPPTK. En période calme, ce dernier émet un bulletin d'activité hebdomadaire qu'il remet au CVGHM. Le DVGHM informe le département des ressources minières et géologiques de l'état de tout changement d'activité des volcans. Le cas échéant, ce dernier prévient les responsables gouvernementaux.

Le DVGHM et donc le BPPTK ont pour mission d'évaluer le risque volcanique qualitativement et quantitativement. Il existe 4 niveaux d'alerte qui correspondent à des états d'activité croissante du volcan (Tab. 7).

Niveau	Activité volcanique
I- NORMAL	Les observations visuelles et les données sismiques sont normales
II- WASPADA : « Sur ses gardes »	Les observations visuelles et les données sismiques révèlent une reprise de l'activité
III- SIAGA : « Prêt »	L'activité sismique est plus forte. La source des séismes remonte et l'énergie cumulée des séismes augmente. Une éruption est possible. Il faut être prêt à évacuer
IV- AWAS : « Danger »	L'évacuation est nécessaire (fortement conseillée)

Tableau 7 : Les quatre niveaux d'activité du Merapi définis par le CVGHM et leurs conséquences pour les populations.

Lorsqu'une évacuation (Fig. 23) est décidée par les responsables gouvernementaux, le BPPTK est chargé de téléphoner aux chefs des districts (*kecamatan*) concernés, lesquels préviennent les chefs de villages (*desa*). Ces derniers donnent alors aux chefs de quartiers l'ordre d'évacuer, soit par l'intermédiaire de *Kentongan*, une sorte de gong en bois (système traditionnel), soit par des sirènes. Une fois les habitants prévenus, l'armée se charge de l'évacuation et transporte les populations en camions vers les camps de réfugiés. L'évacuation n'étant pas obligatoire, de nombreux habitants restent chez eux lors du niveau d'alerte 4, comme en témoigne l'exemple de 2006 (Mei et Lavigne, 2012).

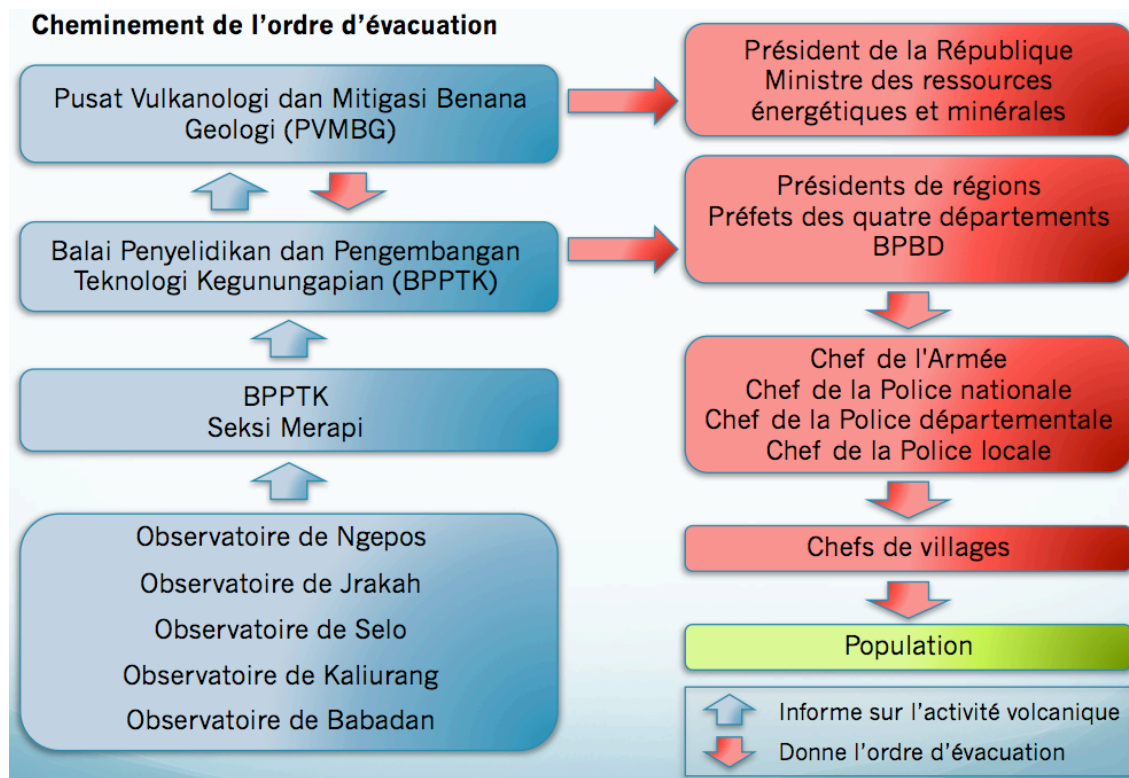


Figure 23. Schéma du système d'alerte et de la gestion de crise au Merapi.

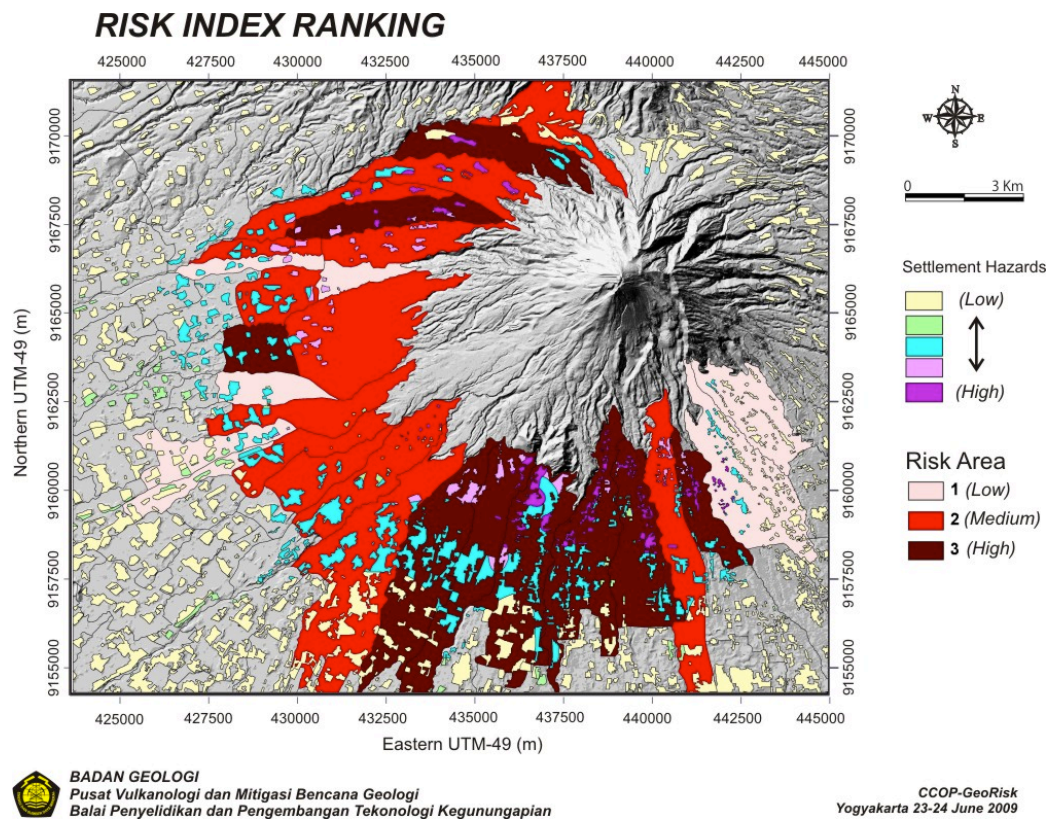


Figure 24. Carte des risques réalisée par le BPPTK, Juin 2009.

Depuis 2009, le BPPTK a pris conscience de la nécessité d'une carte des risques au Merapi. Celui-ci a publié une première carte de risques (Fig. 24) fondée sur une dizaine de questions concernant différents facteurs de vulnérabilité (densités de populations, personnes vulnérables, perception du risque,...). Cependant cette carte n'était pas satisfaisante. D'une part, les *desa* sélectionnés ne couvraient pas l'ensemble des zones exposées aux aléas du Merapi. D'autre part, la carte était à l'échelle du *desa*, dont les plus hauts sur le volcan ont une forme longitudinale et les enjeux ne sont pas les mêmes entre l'amont et l'aval du *desa*. Enfin, la liste des questions portant sur les facteurs de vulnérabilité était incomplète et nécessitait d'être développée et de porter sur plus de facteurs (capacité de transports, systèmes d'alerte, personnes vulnérables,...). C'est pourquoi la présente étude propose de résoudre ces principaux problèmes.

Dans les conditions actuelles, en cas d'éruption paroxysmale du Merapi qui sortirait de la « normale » de l'activité du volcan, la gestion de la catastrophe et les évacuations se feraient de manière anarchique et désordonnée. C'est ce qui s'est produit lors de l'éruption de 2010.

4. L'éruption de 2010

4.1. L'augmentation de l'activité du Merapi et des niveaux d'alerte

L'éruption du Merapi de 2010 a montré une augmentation d'activité au milieu du mois de septembre. Dès lors, les scientifiques du BPPTK ont augmenté leur vigilance quant à la surveillance du volcan. Le niveau d'alerte est augmenté par monsieur Subandrio, directeur du BPPTK le 20 septembre 2010 en raison du nombre accru de séismes volcaniques et de l'accentuation de la déformation du sommet du volcan. Le niveau passe de 1 « normal » à 2 « *waspada* ». Dès le début du mois d'octobre, le BPPTK savait que l'éruption à venir serait importante voire exceptionnelle, du fait de l'accentuation rapide et puissante de l'activité (annexe B). Cependant, aucune mesure supplémentaire n'a été prise, seule la vigilance a été augmentée. Le 21 octobre, l'activité du volcan continue d'augmenter de manière intensive (Fig. 25), le taux de déformation du sommet s'accroît considérablement (plus de 20 à

30 cm/jour), le directeur du BPPTK passe du niveau d'alerte 2 à 3 « *siaga* ». Le directeur de la volcanologie en Indonésie basé à Bandung, monsieur Surono se rend alors à Yogyakarta.

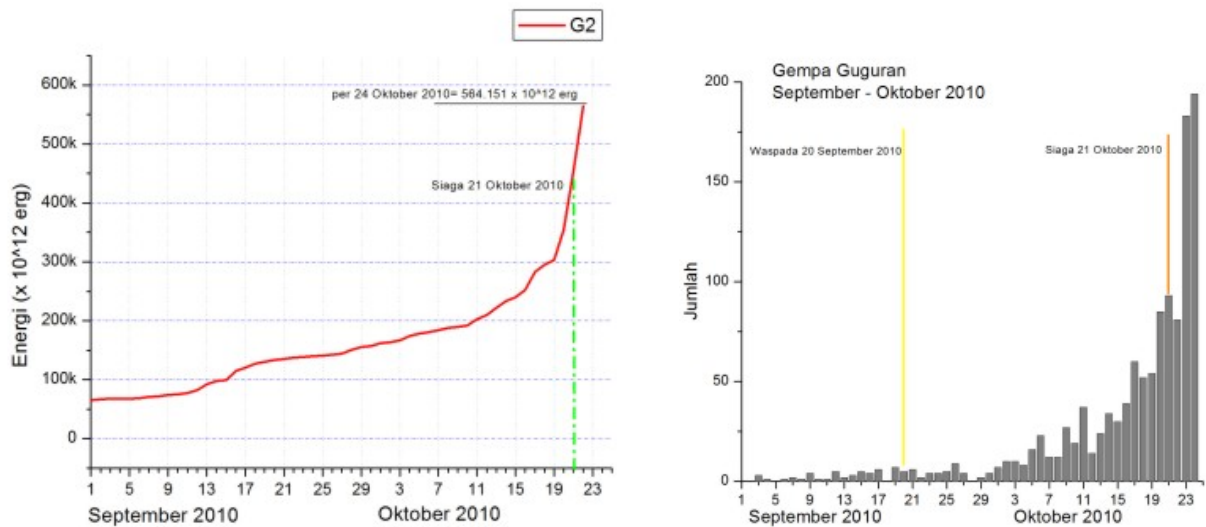


Figure 25. Une forte hausse de l'activité volcanique à la veille de la première éruption.

Source : BPPTK

A. Augmentation rapide de l'énergie cumulée du Merapi. B. L'augmentation exponentielle du nombre de *guguran* et de tremblements de terres d'origine volcanique à la veille de l'éruption.

Durant les quatre jours suivants, le nombre de séismes volcaniques s'intensifie et atteint quotidiennement 250 tremblements de terre, alors que le taux de déformation au sommet dépasse 50 cm par jour. Le 25 octobre à 6h00, heure locale, monsieur Surono prend la décision d'augmenter le niveau d'alerte à 4 « *awas* » (danger) ce qui signifie le début de l'évacuation de 37 *dusun*, répartis dans 12 *desa*, tous situés dans un rayon de 10 km autour du sommet du Merapi. Ce jour là, 22 700 personnes sont déplacées.

4.2. L'éruption du 26 octobre 2010

La première éruption se produit le 26 octobre à 17h02. Un *blast* détruit les anciens dômes du Merapi et dévale le flanc sud sur une distance de 8 km en soufflant tout sur son passage. L'énergie libérée lors de cette éruption est équivalente à l'énergie sismique cumulée des éruptions de 1994, 1997, 2001 et 2006. Contrairement aux coulées pyroclastiques de 2006, le *blast* ne suit pas le cours de la rivière Gendol, mais dévale les flancs du volcan sans être influé par la topographie. Il détruit la moitié de deux *desa*.

Le 29 octobre, la seconde phase de l'éruption commence après une courte période de calme relatif. Du magma frais émerge dans le nouveau cratère du volcan, forme un dôme de lave et émet d'importantes quantités de gaz. Le 30 octobre au matin, le nord de la ville de Yogyakarta et le flanc sud du Merapi est recouvert d'une fine couche de cendres.

Le 1^{er} novembre, pour la première fois depuis le début de l'éruption, le Merapi n'est pas couvert par les nuages et à 10 heures, le volcan émet un petit écoulement pyroclastique d'une distance de quatre kilomètres, ce qui va jouer un rôle déterminant dans la perception du risque par les populations. Le même jour, on aperçoit l'énorme dôme fumant du volcan (Fig. 26). Deux jours durant, une colonne de 8 km de hauteur est émise par le volcan, liée à l'évaporation de l'eau du système hydrothermal du sommet.



Figure 26. Photo du dôme du Merapi le 1^{er} novembre. Cliché : A. Picquout.

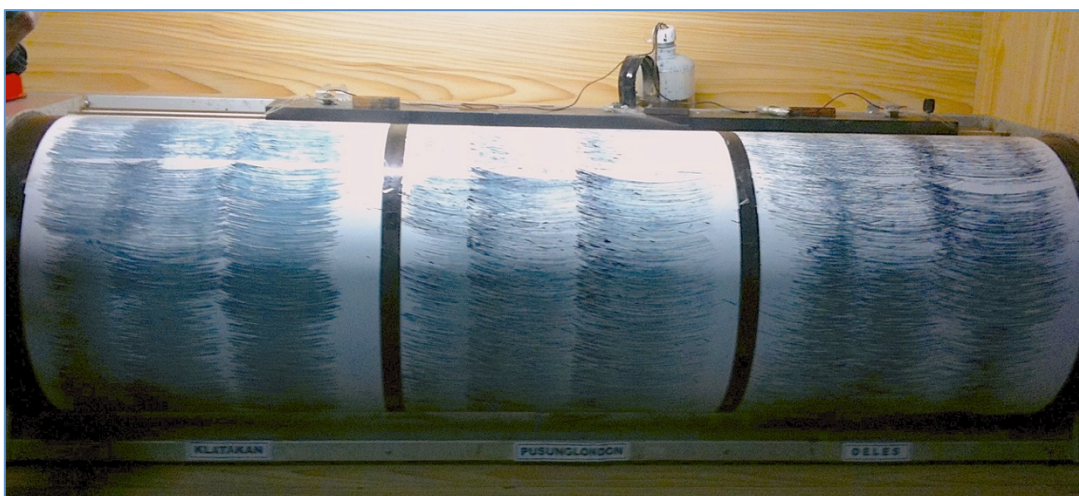


Figure 27. Sismographes saturés le 3 novembre 2010. Cliché A. Picquout.

4.3. La montée en intensité de l'activité

La troisième phase de l'éruption débute le 3 novembre. Une série d'explosions magmatiques avec une fréquence et une intensité accrue se produit. Certaines d'entre elles sont entendues à plus de 30 km du sommet du volcan. Alors que les quatre sismogrammes sont saturés (Fig. 27), monsieur Surono décide d'augmenter le rayon d'évacuation de 10 km à 15 km.

Sur le Merapi, les plans d'évacuation sont prévus pour des éruptions de type 2006, caractérisées par des écoulements pyroclastiques denses qui suivent le cours d'une ou deux vallées du volcan sur une distance maximum prévue de 10 km. Les camps de réfugiés sont situés en périphérie de la zone d'évacuation, généralement entre 10 et 15 km du sommet.

Alors que le bureau de la volcanologie avait prévu une éruption exceptionnelle, aucune mesure n'a été prise pour anticiper une évacuation. Ainsi, quand monsieur Surono signe l'ordre d'évacuation élargi de 5 km (passant alors à 15 km) les habitants qui doivent évacuer et les organismes de la gestion de crise (BPPBD) sont dépassés par la situation. Certains groupes de villageois – pour la plupart une communauté d'un ou plusieurs *dusun* – se réfugient dans des écoles coraniques, d'autres vers des villages voisins ou des camps de fortune sont installés par des chefs de *desa* voisins, d'autres enfin se dirigent vers les plus gros stades ou gymnases de Yogyakarta et de Magelang (Fig. 28).

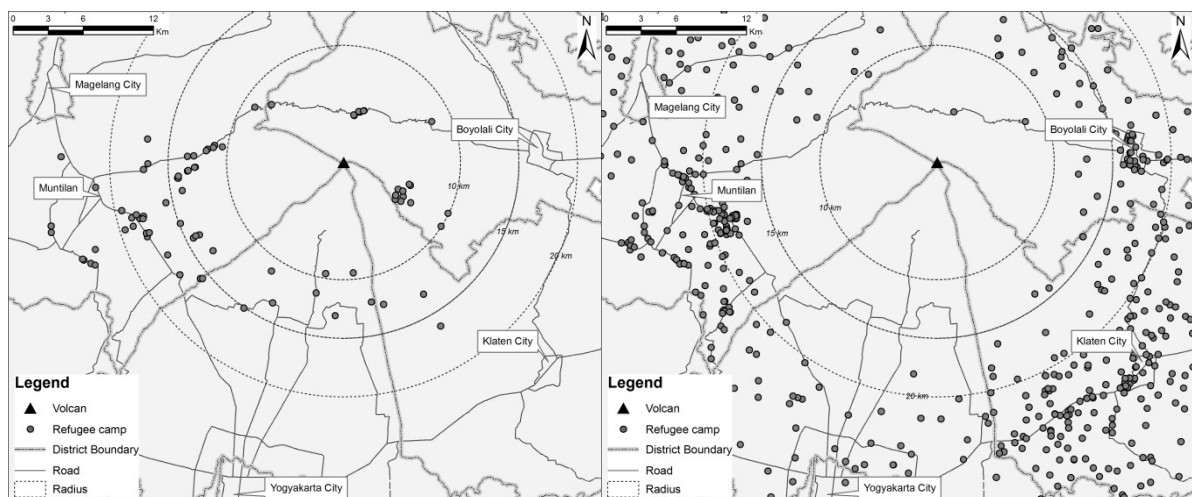


Figure 28. Localisation des camps de réfugiés, avant et après l'éruption du 4 novembre 2010.

Source : Mei et al., 2012.

Le 29 octobre 2010, les réfugiés sont répartis dans 79 camps situés dans un rayon compris entre 10 et 15 km du sommet du volcan. Le 13 novembre, les réfugiés sont répartis dans plus de 500 camps, au delà d'un rayon de 20 km.

4.4. L'éruption du 4 et 5 novembre 2010

Le 4 novembre, la magnitude de l'éruption inquiète le directeur de la volcanologie. En fin d'après midi, il décide de porter le rayon d'évacuation à 20 km, entraînant l'évacuation de plus d'un million d'habitants. N'ayant jamais fait face à une crise de cette ampleur, les autorités gouvernementales refusent dans un premier temps de suivre l'avis émis par monsieur Surono. À 18h46, un des quatre sismomètres est emporté par une coulée pyroclastique. Monsieur Surono se bat durant plusieurs heures pour qu'enfin l'ordre d'évacuer soit émis à 22h. Le pic de l'éruption a lieu, quelques heures après le 5 novembre à 00h05. Le dôme du Merapi explose et s'effondre, générant une puissante éruption (IEV 4). Celle-ci engendre un nouveau *blast*, plus puissant que le premier du 26 octobre, qui dévale les flancs du volcan sur une distance de 8,3 kilomètres et une surface de 22,3 km² entre les rives gauches des rivières Kuning et Gendol (Komowski et al., 2013). Dans le même temps, des coulées pyroclastiques dévalent les flancs du volcan dans les vallées des rivières Gendol, Kuning, Woro et Boyong. La plus importante parcourt une distance de 17 km dans la rivière Gendol (Fig. 29). De part et d'autre de celle-ci, des déferlantes prennent de court les habitants de la partie aval de la Gendol, qui n'avaient jusqu'alors jamais été concernés par une évacuation ni directement par un aléa volcanique. Les écoulements pyroclastiques détruisent deux des trois sismomètres restant sur le volcan à 0h07 et à 4h25. Parallèlement, le panache de cette éruption dépasse les 17 km d'altitude et libère une grande quantité de SO₂ et de cendres (Surono et al, 2012). La quasi-totalité du matériel de surveillance du volcan est détruit, laissant les volcanologues dès lors en partie « aveugles ».

La quatrième phase commence après l'éruption paroxysmale du 5 novembre. Une phase de dégazage intense et continue avec des coulées pyroclastiques a lieu, caractérisée par des tremblements de terre forts qui saturent le dernier sismomètre situé à 6 km du sommet (Surono et al., 2012 ; Komorowski et al., 2013).

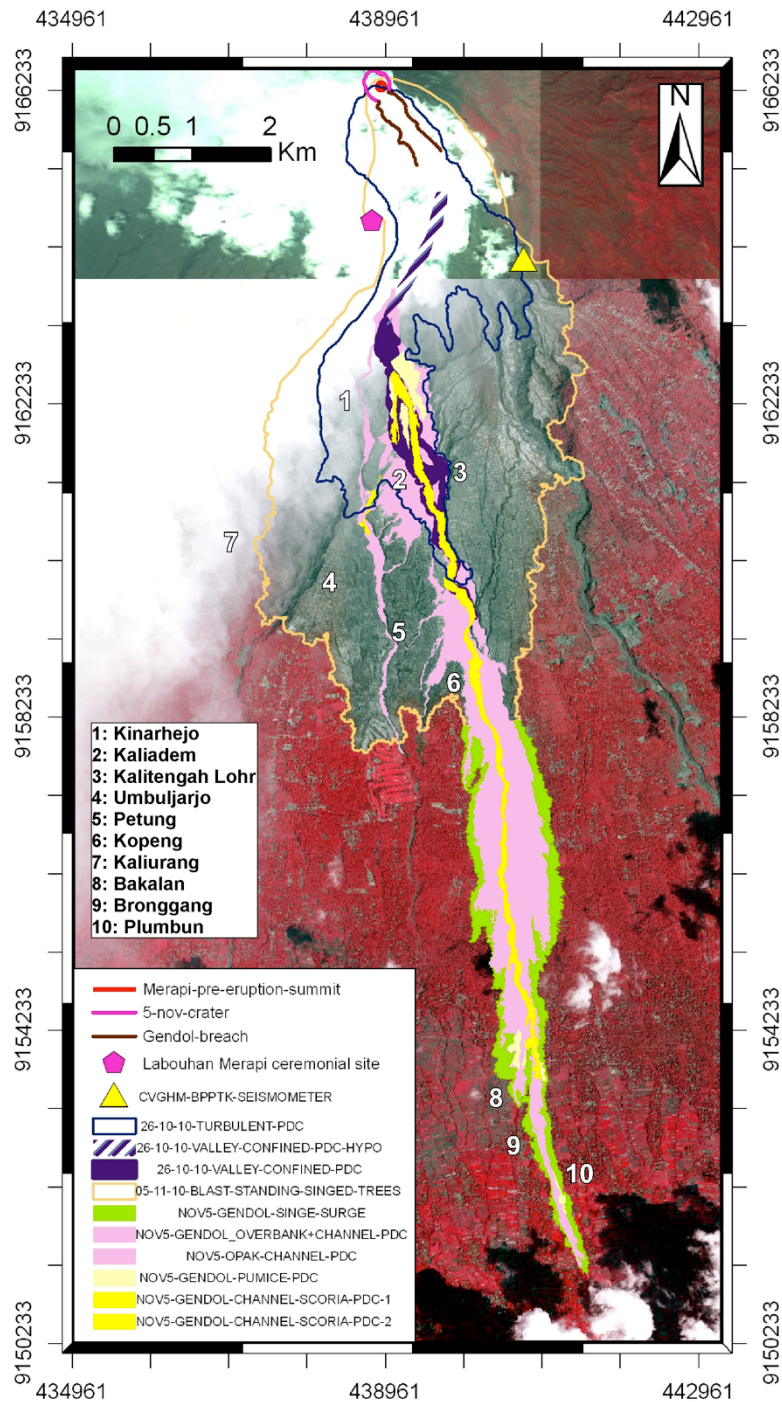


Figure 29. Zones touchées par les écoulements pyroclastiques de l'éruption de 2010 du Merapi

Source : Komorowski et al., 2013.

Sur la figure est représentée par un trait bleu, la zone touchée par le *blast* et les écoulements pyroclastiques du 26 octobre 2010 ; Par un trait orange, la zone touchée par le *blast* du 5 novembre 2010 ; En rose, la zone touchée par les écoulements pyroclastiques du 5 novembre et en vert, la zone touchée par leurs déferlantes.

4.5. Vers un retour au calme

L'intensité de l'éruption diminue au cours du temps lors d'une longue phase de dégazage, perturbée occasionnellement par des explosions fortes, parfois entendues jusqu'à Yogyakarta, jusqu'au 15 novembre.

Le 19 novembre, monsieur Surono, observant une baisse de l'intensité de l'éruption, réduit la recommandation du rayon d'évacuation selon les flancs du volcan et le 3 décembre il fait passer le niveau d'alerte de 4 à 3, ce qui signifie la suspension de l'évacuation des populations sur les flancs du volcan.

En janvier 2011, le CVGHM publie la nouvelle édition de la Carte réglementaire des zones de danger (Fig. 30 A.) qui diffère de la précédente (Fig. 30 B.) par un prolongement de la zone KRB II et III au niveau de la rivière Gendol, jusqu'à l'endroit où s'est arrêtée la coulée pyroclastique du 5 novembre 2010. La zone KRB I a été élargie en aval de cet endroit. Enfin, la zone KRB III a également été agrandie entre les rivières Opak et Gendol, dans la zone frappée par les *blasts* de l'éruption.

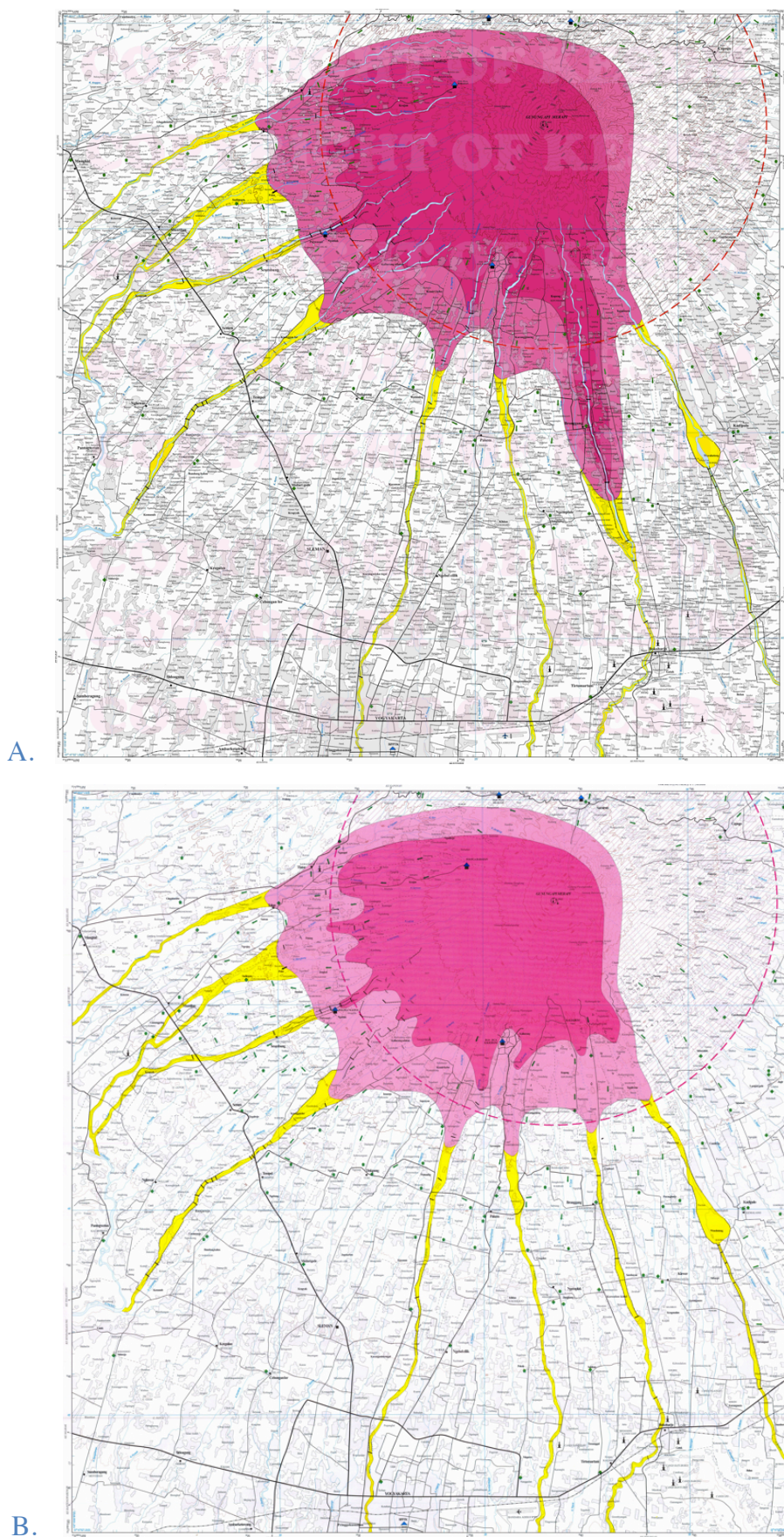


Figure 30. Carte réglementaire des zones de danger de 2011 (A) et de 2001 (B). Source : BPPTK.

Ce chapitre montre la complexité du contexte de cette étude. Le Merapi est un volcan très actif dont les éruptions peuvent se manifester avec de nombreux aléas ; une population très dense sur les flancs du volcan, dans une région où la tradition et la culture javanaise est profondément ancrée ; et de nombreux acteurs de la gestion de crise détenant chacun des responsabilités très délimitées. L'éruption exceptionnelle de 2010, la plus importante depuis 150 ans, a montré la difficulté à gérer la crise, d'une part au niveau de la prévision de l'intensité de l'éruption et d'autre part dans l'organisation des évacuations massives de la population.

Le bilan des impacts de l'éruption fut lourd, la thèse propose de les étudier selon une méthodologie spécifique, décrite dans le chapitre suivant.

Chapitre II – Choix méthodologiques

Dans le but d'étudier la vulnérabilité des populations vivant sur le Merapi avant l'éruption de 2010, puis les impacts de cette éruption, nous avons choisi de travailler à différentes échelles. Mais la particularité de cette thèse est d'avoir utilisé l'échelle du *dusun* (hameau). En effet, les cartes et études réalisées à l'échelle la plus fine par le gouvernement indonésien sont à l'échelle du *desa* (commune).

Dans un premier temps, les limites du maillage choisi ont été obtenues de manière participative, avec les chefs de communes et de hameaux. L'étude a commencé par la réalisation d'une série d'entretiens semi-dirigés avec des habitants de différents villages afin de construire un questionnaire sur les facteurs de vulnérabilité des populations vivant sur le volcan. Puis deux questionnaires ont été complétés par les représentants administratifs des *desa* et des *dusun*. Un premier pour étudier la vulnérabilité des populations – avant l'éruption – et un second –après la catastrophe - pour étudier les impacts de l'éruption de 2010. Les données ont été insérées dans un Système d'Informations Géographiques (SIG), ce qui a permis de réaliser le traitement la représentation cartographique ce celles-ci. Enfin, une série de discussions participatives (*Focus Group Discussions*) et d'entretiens ont été réalisés afin d'avoir une information sur le retour d'expériences liées à l'éruption et à ses conséquences sur les populations vivant sur le volcan.

L'ensemble de cette étude a été menée dans le cadre du Work Package 5 « Socio-economic vulnerability and resilience » du programme européen MIA VITA (*Mitigate and Assess risk from Volcanic Impact on Terrain and human Activities*) financé par le 7^{ème} programme cadre (FP7) de la commission Européenne, entre octobre 2008 et septembre 2012.

1. Acquisition de données

La réalisation de cette thèse a comporté une longue phase de terrain qui a durée 35 mois soit presque trois ans répartis sur principalement quatre missions : La première mission fut réalisée dans le cadre du Master 2, sur une période de deux mois de fin janvier à fin mars 2008, dans le but de découvrir le terrain d'étude et de commencer à étudier certains facteurs

de vulnérabilité ; La seconde mission eu lieu de début aout à fin septembre 2008, son but était de continuer l'étude des facteurs de vulnérabilité et de prendre contact avec les partenaires (CVGHM, BPPTK, UGM) et les autres organismes de la gestion de la crise ; La troisième mission marqua le début des recherches en collaboration avec le BPPTK, elle dura neuf mois, entre avril 2009 et janvier 2010 ; Enfin la dernière phase de terrain un an et neuf mois, initialement prévue pour 10 mois, elle fut prolongée de 11 mois en raison d'une modification du sujet de la thèse à la suite de l'éruption du Merapi de 2010.

Les principaux problèmes rencontrés furent liés à la communication entre les membres de cette étude, le partenaire national, le CVGHM et le partenaire local, le BPPTK, lors de la réalisation des questionnaires PODUS. Plusieurs mois de terrain ont été perdus car le centre de volcanologie de Yogyakarta n'avait pas pour priorité ni les moyens de coopérer à l'étude sur la vulnérabilité des populations du Merapi. La soudaine éruption du Merapi a également perturbé l'avancée de la thèse en prolongeant la durée des recherches car l'opportunité d'étudier ses impacts nous a conduit à changer une partie du sujet.

L'étude s'est déroulée en deux phases : L'une avant l'éruption qui avait pour but d'étudier la vulnérabilité des populations vivant sur le Merapi et une seconde, pendant et après l'éruption qui avait pour but d'étudier les impacts de celle-ci.

1.1. L'étude pré-éruption

L'étude a débuté par une série d'entretiens semi-dirigés dans la zone KRB III, la plus exposée aux aléas du Merapi, afin de déterminer les facteurs de vulnérabilité des populations du volcan. Puis les données ont été quantifiées en réalisant des questionnaires, pour constituer une base de données socio-économiques. Enfin les données acquises ont été affinées par des groupes de discussions participatives dans deux villages situés très haut sur le volcan (Fig. 31).

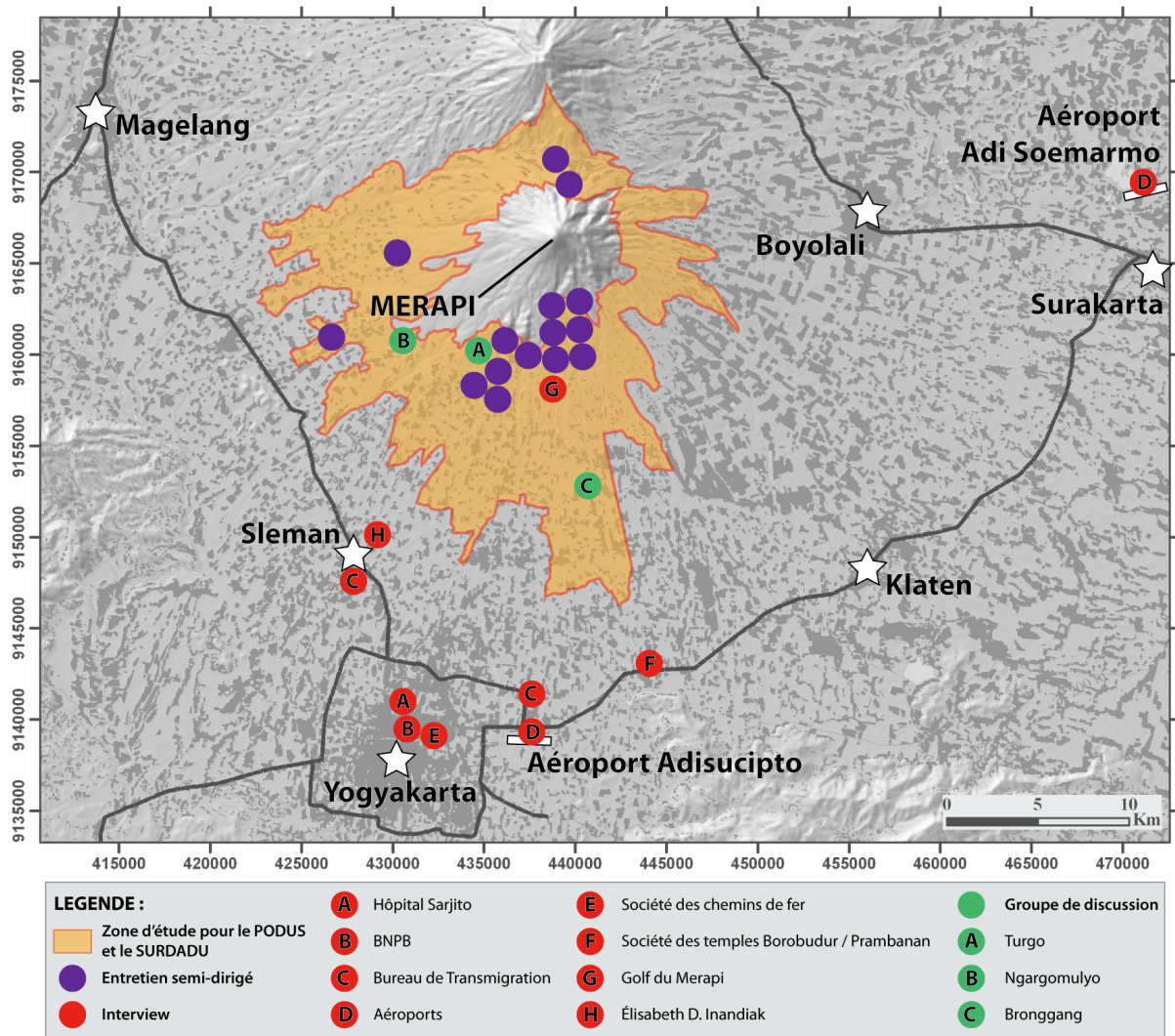


Figure 31. Carte des sites d'enquête lors des recherches.

1.1.1. Entretiens semi-dirigés

Une série d'entretiens semi-dirigés individuels ont été organisés entre février et mars 2008, dans le but de préparer cette étude. Ces enquêtes qualitatives, composées d'un enchaînement de questions ouvertes, avaient pour but de prendre un premier contact avec le terrain et de faire ressortir différentes problématiques concernant la vulnérabilité des populations vivant sur les flancs du Merapi. Les entretiens duraient entre une heure et une heure et demie. Ils ont été enregistrés à l'aide d'un dictaphone et réalisés avec le soutien d'une traductrice, en indonésien et en javanais. Chaque entretien a été retranscrit en indonésien puis traduit et traité par question dans un tableau Excel. Deux séries de questions pour ces entretiens ont été préparées, l'une pour les villageois et l'autre pour les chefs de villages (annexe C).

Les questionnaires pour les villageois étaient composés de quatre parties :

- conditions de vie quotidienne au village (environnement familial, conditions de travail, économie du foyer, équipements du foyer, vie au village, implication citoyenne) ;
- le volcan : bonheur ou danger (connaissance de l'aléa, perception du risque) ? ;
- comportements en cas d'éruption (retour d'expériences d'une ou de plusieurs éruptions passées) ;
- informations contextuelles (âge, sexe,...).

Les questionnaires pour les chefs de villages étaient composés des quatre mêmes thèmes que ceux des questionnaires pour les villageois et d'un thème supplémentaire abordant les difficultés de gestion du village (problèmes de gestion, solutions et aides).

Douze entretiens-semi dirigés ont été réalisés :

- sept avec des villageois de différents milieux sociaux, hommes et femmes ;
- trois avec des acteurs clés ayant une responsabilité (responsable d'une communauté de femmes, le chef des *Search and Rescue* du Merapi, un chef d'une communauté d'agriculteurs ;
- deux avec des chefs de village.

Tous les entretiens se sont déroulés dans des villages situés dans la zone KRB III, la plus exposée aux aléas du Merapi, en amont et en aval de ces zones et sur les différents flancs du volcan (Fig.31).

1.1.2. Élaboration de la base de données socio-économiques

L'analyse de facteurs de vulnérabilité permet de prévoir l'amplitude des préjudices potentiels face à un aléa naturel. Elle fournit une mesure quantitative de l'exposition des éléments et dans un même temps une mesure qualitative de la capacité de réponse d'un individu ou d'un groupe exposé à une catastrophe. Ainsi des facteurs de vulnérabilité ont été sélectionnés afin de mesurer l'importance du rôle qu'ils jouent ou peuvent jouer en cas d'éruption du volcan.

• Les données PODES : vue d'ensemble du Merapi

L'agence centrale de statistiques Indonésienne (*Badan Pusat Statistik*) est un organisme chargé de fournir des données à plusieurs échelles. Chaque *kabupaten* possède une agence qui recense des données sur différents thèmes : industries, forêt, transports, population, tourisme, Afin d'avoir une vue d'ensemble sur le profil socio-économique des *desa* du Merapi, les données du recensement annuel de la population, appelés PODES (*Potensi DESa*), ont été utilisées. Ces questionnaires sont réalisés à l'échelle du *desa* et sont composés de données portant sur la population, l'économie, la culture. Chaque agence est censée publier le PODES chaque année, mais les enquêteurs et les administrations manquent parfois d'implication et de sérieux, ce qui rend parfois difficile l'acquisition de données complètes. Les données sont disponibles à l'échelle du *kabupaten*, des *kecamatan* et des *desa*.

• Le questionnaire PODUS : étude de la vulnérabilité des zones à risques

A partir du *Potensi DESa* (recensement socio-économique annuel indonésien) un nouveau questionnaire a été constitué. Ce questionnaire a été distribué aux chefs de *dusun* afin de collecter des données socio-économiques. Il a été nommé « PODUS » pour *Potensi DUSun*.

La spécificité du PODUS est d'axer le questionnaire sur la vulnérabilité face aux aléas volcaniques. En dehors des questions socio-économiques classiques qui existaient déjà dans le PODES, d'autres questions ont été ajoutées. Ces questions ont pour but de connaître le nombre précis de moyens de transport présents dans le *dusun* ; d'avoir des informations concernant les évacuations comme le nombre de panneaux d'évacuation, de sirènes, les kilomètres de routes d'évacuation,... Enfin elles renseignent sur les exploitations des matériaux apportés lors des éruptions, sur la question de problèmes dans les sources ou dans les puits suite à ces extractions massives.

Le questionnaire du PODUS est divisé en cinq parties :

- la démographie du *dusun* (nombre d'habitants, niveau d'études, religion,...) ;
- l'organisation communautaire, religieuse et économique des *dusun* ;
- les équipements (moyens de transports, de communication, infrastructures,...) ;
- l'occupation et utilisations des terres cultivables et forêts.

Le PODUS est composé de 139 questions portant sur des données chiffrées, ainsi que quatre questions ouvertes et trois questions fermées (annexe D). Ce questionnaire a aussi permis de récolter les noms et numéros de téléphone des chefs de *dusun* et ainsi créer un annuaire.

Le questionnaire PODUS a été validé par le BPPTK. Il a d'abord été testé dans les *desa* situés autour du poste d'observation de Babadan. Le BPPTK a souhaité s'occuper de la distribution des questionnaires. La méthodologie planifiée était qu'un employé de chacun des cinq postes d'observation devait distribuer des questionnaires dans cinq *desa* par jour. Une fois la distribution effectuée - théoriquement en deux semaines -, les employés avaient pour mission de retourner aux bureaux des *desa* pour collecter les questionnaires complétés. La semaine suivant les deux semaines de collecte, les questionnaires devaient être centralisés au BPPTK pour permettre la saisie informatique.

Le questionnaire PODUS n'a suscité à l'origine que peu d'intérêt auprès des directeurs du BPPTK. Ce qui a retardé la collecte des questionnaires par les employés d'autant que la direction du BPPTK était réticente à ce que notre équipe aille collecter les questionnaires, au nom de la collaboration dans le cadre du programme MIA VITA. Neuf mois après le début de la distribution, l'ensemble des questionnaires n'était pas collecté malgré de nombreuses relances de la part de notre équipe. Il a donc fallu - pour un tiers du volcan – recommencer le travail, avec l'aide d'autres partenaires locaux (université UGM).

D'autres problèmes se sont posés lors de la distribution de ce questionnaire. Une partie des chefs de *desa* n'a pas respecté les délais pour distribuer et collecter les questionnaires auprès des chefs de *dusun* en raison de l'absence de compensation financière. Certains chefs de *dusun*, n'ayant pas encore effectué de recensement de ce type, n'ont rien répondu ou ont répondu au hasard, en minimisant ou en exagérant les données ; d'autres ont mal lu ou n'ont pas compris la question et ont répondu de manière insensée.

Il a donc été nécessaire de retourner plusieurs fois à la rencontre des chefs de *dusun* en expliquant notre démarche et l'intérêt de l'étude à l'échelle locale, afin d'obtenir des données les plus complètes possibles. Certaines questions ont été abandonnées en raison de l'absence de données ou d'informations trop compliquées à obtenir pour les chefs de *dusun*.

1.1.3. Les groupes de discussions participatives

Deux séries de groupes de discussions participatives ont été réalisées au mois de juillet 2010, peu de temps avant l'éruption, dans le but d'affiner les données acquises par les entretiens et les questionnaires PODUS.

Le but de ces groupes de discussion est de faire débattre les participants sur un thème donné. La discussion est orientée par des questions posées par un modérateur visant à parvenir à un accord conforme sur le thème abordé. Les chercheurs n'interviennent pas dans les discussions tenues par les participants, mais proposent que quelques thèmes associés à des objectifs scientifiques y soient étudiés. Le modérateur essaye de faire s'exprimer et donner son avis à l'ensemble des participants (Berthier, 2006).

Deux *desa* situés dans la « zone interdite » du volcan ont été choisis pour mener cette étude. Le premier, Turgo, se trouve dans le *kabupaten* Sleman. Il a été choisi car le *desa* est situé près de la rivière Boyong, très haut sur le volcan, à une altitude de 950 m et c'est l'un des derniers villages meurtris par une éruption récente du Merapi. En 1994 en effet, plusieurs dizaines de maisons y ont été détruites et 69 personnes ont été tuées (Dove, 2008 ; Mei et Lavigne, 2012). Le second village retenu pour l'étude est celui de Ngargomulyo, dans le *kabupaten* Magelang, choisi pour sa proximité du volcan, situé à 7 km sur le flanc sud-ouest et pour ses conditions d'évacuation difficiles.

Cinq groupes de discussion ont eu lieu à Turgo, et quatre à Ngargomulyo. Chaque groupe réunissait à chaque fois de 13 à 20 participants appartenant à différentes communautés : femmes, personnes âgées de plus de 60 ans, jeunes de 10 à 15 ans, villageois ayant été relogés suite à l'éruption de 1994 (Turgo), représentants du village (chefs de *dusun*, chef de quartier,...).

Ces discussions duraient de 2 à 3 heures et étaient animées conjointement par une scientifique du BPPTK et des membres (Indonésiens et Français) du programme MIA VITA. Les échanges étaient orientés autour de trois axes :

- l'histoire et la perception des événements passés ;
- les ressources des habitants ;
- les moyens de subsistance du quotidien lors des crises.

Les principales difficultés rencontrées concernaient la langue usitée par les villageois. En Indonésie la langue maternelle est liée à la région où les gens naissent. Au Merapi, par exemple, les villageois parlent Javanais. La langue nationale, le *bahasa Indonesia*, est enseignée à l'école primaire, utilisé par les médias et dans les administrations. Cette langue a connu son essor durant l'occupation Japonaise (1942 – 1945) qui l'utilisèrent pour diffuser la propagande anti-occidentale. C'est la proclamation de l'indépendance de l'Indonésie en 1945 qui officialise la langue (Sneddon, 2003), certaines personnes âgées des campagnes Indonésiennes ne le parlent pas. Sur les flancs du Merapi, le Javanais est plus utilisé que le

bahasa Indonesia. Lors d'interviews les personnes interrogées utilisent parfois des mots Javanais, qui leurs viennent plus spontanément. Pour la réalisation des groupes de discussion, les habitants ont besoin de se sentir à l'aise pour échanger et la conversation passe très naturellement du *bahasa Indonesia* au Javanais. Les Français, même parlant le *bahasa Indonesia*, sont alors limités dans leur compréhension et leurs interventions.

Les autres difficultés rencontrées étaient dues aux relations entre les participants. Le rang social, l'âge et la personnalité ont parfois mis des intervenants en avant, prenant plus la parole que les autres ou tranchant les avis durant les discussions, ce qui eut pour conséquence le mutisme de certains participants. Des difficultés inhérentes à certains groupes, comme celui des femmes ou des adolescents, a nécessité d'organiser la discussion différemment, en adaptant les questions posées aux participants. Il est rare, par exemple que des femmes, mères de familles, conduisent une moto ou que des adolescents aillent au marché.

1.2. L'étude syn et post éruption

Les travaux de recherche de la thèse ont pris un tournant au moment de l'éruption. Il a alors été décidé d'étudier une partie de ses impacts. Durant l'éruption et l'année suivante, de nombreux entretiens ont été mis en œuvre, auprès des villageois, de bureaux du gouvernement Indonésien, avec des scientifiques de plusieurs pays, dans des hôpitaux et des entreprises privées. Ces entretiens ont permis de qualifier les impacts puis de les quantifier à l'aide de données qui ont été mis à notre disposition pour cette étude. Par la suite, un nouveau questionnaire a été réalisé auprès des chefs de dusun afin d'étudier les impacts de l'éruption à l'échelle locale. Pour terminer l'étude, une dernière discussion participative a été mise en place dans le but d'affiner les informations relatives au vécu de l'éruption du 5 novembre 2010 par les villageois, à la gestion de la crise au niveau local, et au déroulement des évacuations.

Pendant l'éruption, il a été difficile d'acquérir des données car les administrations étaient très occupées, les villageois évacués et traumatisés. La saison des pluies a posé en plus des problèmes d'accès à certains villages. L'éruption a eu lieu au début de la saison des pluies et très rapidement, des lahars ont eu de lourds impacts sur le réseau routier, détruisant de nombreux ponts sur les flancs du volcan si bien que certains villages se sont retrouvés inaccessibles durant quelques mois. Les lahars ont régulièrement coupé la route reliant

Yogyakarta à Magelang, donc à l'ensemble du flanc ouest du volcan, ce qui perturba la collecte de données en rallongeant les temps de trajets de plus de deux heures par jour.

1.2.1. Réalisation d'entretiens

Dans le but d'étudier plus finement des impacts de l'éruption, il a été nécessaire d'organiser des entretiens afin d'obtenir des informations et données précises sur les thèmes abordés dans cette thèse. Pour cela, de nombreuses interviews ont été réalisées au sein de sept administrations, avec différents interlocuteurs indonésiens. De plus, une écrivaine française, spécialiste de la tradition et de la culture javanaise a été consultée.

● L'hôpital Sarjito de Yogyakarta

Afin d'obtenir des données concernant les victimes de l'éruption et d'avoir des informations précises sur la nature et les causes de décès et blessures liées à la catastrophe, une partie des recherches a été réalisée en collaboration avec l'équipe du Professeur P.J. Baxter de l'université de Cambridge. Deux missions ont été menées successivement, une première à la fin de l'éruption entre fin novembre et début décembre 2010 et une seconde en juillet 2011.

Lors de l'éruption, l'ordre a été donné d'acheminer les victimes (morts et blessés) de la catastrophe à l'Hôpital Sarjito, le plus important de la ville de Yogyakarta et des quatre *kabupaten* entourant le volcan. Ainsi avons-nous été amenés à rencontrer pour commencer les responsables administratifs de l'hôpital Sarjito qui ont mis à notre disposition de nombreuses données.

- le directeur de l'hôpital Sarjito, Docteur Maduseno ;
- la directrice des Urgences, Docteur Vera ;
- la directrice de la morgue, Docteur Lipur ;
- le directeur de la chirurgie plastique, Docteur Rosadi.

Ces entretiens ont permis d'obtenir des informations précises sur les victimes, le lieu où ils ont été frappés par la catastrophe, les degrés de brûlure, la date d'entrée à l'hôpital et éventuellement la date de sortie.

● Le BNPB (*Badan Nasional Penanggulangan Bencana*)

Une partie des victimes n'a pas été admise à l'hôpital Sarjito, surchargé lors du pic de l'éruption et loin du lieu où certaines victimes ont été frappées par la catastrophe. Nos

données ont été complétées avec des données fournies par le BNPB, chargé du recensement toutes des victimes de la catastrophe.

• *Departemen Tenaga Kerja dan Transmigrasi*

La transmigration consiste à déplacer des habitants d'une région indonésienne surpeuplée vers une autre île de l'archipel, moins peuplée et nécessitant de la main d'œuvre. Elle est gérée à plusieurs échelles, mais c'est à l'échelle du *kabupaten*, au Département de la main d'œuvre et de la transmigration que les données sont disponibles. Chaque responsable de bureau du *kabupaten* possède une base de données par année qui recense depuis 2004 chaque transmigrant, son âge, sexe, lieu de départ, lieu d'arrivée et type de transmigration.

Un premier entretien a eu lieu avec le directeur de la transmigration de la Province de Yogyakarta, monsieur Parno qui a partagé une série de photos des différents sites de transmigration. Celui-ci a ensuite contacté le responsable du bureau de transmigration du *kabupaten* Sleman, monsieur Surono qui, lors d'un second entretien a permis d'obtenir des informations très complètes sur le fonctionnement passé et actuel de la transmigration en Indonésie, et sur le programme de transmigration mis en place pour les villageois du Merapi.

• *L'aéroport International Adisucipto de Yogyakarta et l'aéroport Adi Soemarmo de Surakarta*

L'étude des impacts de l'éruption sur le trafic aérien a été menée principalement dans les aéroports internationaux de Yogyakarta et de Surakarta. Les données journalières durant la période de l'éruption, concernant les vols par heure et par compagnie ont été récupérées : nombre de vol, de passagers et de marchandises. La manager du service des relations publiques, madame Isye, de la société PT. Angasa Pura I qui gère la partie tourisme de l'aéroport de Yogyakarta a également collecté ces mêmes informations pour l'aéroport de Semarang. Madame Isye nous a recommandé auprès de l'aéroport de Surakarta afin de leur demander de partager leurs données lors de l'éruption du Merapi pour la réalisation de cette étude. Suite à cela, un dernier entretien qui s'est déroulé à l'aéroport international Adi Soemarmo de Surakarta a permis d'acquérir les données nécessaires.

• *La société PT Kereta Api*

Pour cette étude, la société des chemins de fer indonésiens, PT Kereta Api, a mis à disposition des données concernant le nombre de voyageurs quittant quotidiennement Yogyakarta, la configuration des trains et leur nombre durant la période de l'éruption.

- La société PT. Taman Wisata candi Borobudur, Prambanan & Ratu Boko

La société des temples de Borobudur, Prambanan et Ratu Boko a été consultée dans le but d'étudier les impacts de l'éruption sur le tourisme. Tous deux classés au patrimoine mondial de l'UNESCO, les temples de Borobudur et de Prambanan sont les principaux sites privilégiés par les touristes lors de leur visite de Yogyakarta et sont donc un indicateur pertinent de fréquentation touristique de la ville.

Le manager de la société, monsieur Suraji, a mis à notre disposition des données concernant la fréquentation des différents sites ainsi que l'origine (nationale ou internationale) des touristes.

- L'association des directeurs d'hôtels de Yogyakarta

Il a été décidé d'étudier les impacts sur l'activité des hôtels en analysant les données mises à disposition par l'association des directeurs d'hôtels. L'association regroupe l'ensemble des directeurs d'hôtels de 3 à 5 étoiles de la ville (annexe E). Chaque jour, les hôteliers partagent des informations concernant le taux de remplissage et le nombre de chambre occupées dans leur hôtel, ce qui leur permet de comparer leur activité et d'observer la tendance de la ville. Même si ces données n'incluent pas la centaine d'hôtels de moins de 3 étoiles situés majoritairement dans les quartiers de Prawirodaman et Sosrowijayan, nous avons observé que les données mises à disposition de l'association des directeurs d'hôtels étaient représentatives de l'activité touristique de la ville. Les petits hôtels de la ville possèdent entre 10 et 30 chambres alors que ceux membres de l'association en possèdent entre 70 et 310, de plus le nombre d'employés y est plus important, jusqu'à 300 pour les plus gros hôtels.

- Le Golf Merapi

Le *Merapi Golf* est situé sur le flanc sud du Merapi à environ 10 km du sommet. De nombreux touristes fortunés le fréquentent et une partie des affaires politiques et économiques y sont discutées. Deux interviews y ont été menées auprès du directeur général, monsieur Sukirman, afin d'étudier les conséquences de l'éruption sur ce terrain d'affaires, de loisirs et gros employeur de la région.

- Élisabeth D. Inandiak

Dans le cadre d'une étude sur les éléments culturels de Java et plus précisément de Yogyakarta, nous avons bénéficié de l'aide d'Élisabeth D. Inandiak, journaliste et auteur

française installée sur les flancs du Merapi depuis 20 ans. Elle a longtemps fréquenté à titre privé Mbah Marijan, l'ancien « gardien du Merapi » et compte beaucoup d'amis qui travaillent au *Kraton*, le palais du sultan. Son important travail de recherche et de traduction du *Livre de Centini* (grande épopée indonésienne du XVII^{ème} siècle) l'a amenée à approfondir ses recherches sur la culture et la tradition javanaise.

Plusieurs interviews ont été menées avec Élisabeth D. Inandiak afin d'approfondir nos propres recherches, de vérifier et de discuter des données concernant la culture et la spiritualité javanaise, facteur essentiel de la vulnérabilité humaine en Indonésie (Lavigne et al, 2008).

1.2.2. Étude des impacts locaux et régionaux de l'éruption

En avril 2011, une nouvelle série de questionnaires a été distribuée dans l'ensemble des villages évacués lors de l'éruption du Merapi de 2010. Le SURDADU pour SURvei DAmplik Dusun Merapi (enquête des impacts dans les *dusun* du Merapi) avait pour but de faire un inventaire des conséquences de l'éruption du volcan en étudiant, par *dusun*, le nombre de victimes, l'organisation des évacuations durant l'éruption, les changements socio-économiques et les dommages.

Le questionnaire SURDADU est divisé en quatre parties (annexe F) :

- la démographie du *dusun* (nombre d'habitants, âges, profession des habitants, changements de profession,...) ;
- la gestion de crise (systèmes d'alerte et moyens de communication, périodes d'évacuation, moyens de transports, lieux de refuges, problèmes rencontrés, ...) ;
- les victimes (morts, brûlés, blessés,...) ;
- les impacts économiques (pertes financières, nature et degrés d'endommagement du bâti et des réseaux, pertes de bétail, ...).

Les impacts sociaux n'ont pas été étudiés au moyen du questionnaire, faute de temps, ce genre d'étude nécessitant un travail très long.

Afin d'optimiser la réalisation de ce questionnaire par rapport au temps perdu pour le PODUS, une méthodologie différente de distribution et de collecte a été appliquée pour le SURDADU. Le directeur du BBPTK a validé le questionnaire et signé une lettre officielle

demandant aux chefs de *desa* d'aider à la distribution et à la collecte des questionnaires complétés. Cette lettre a été insérée dans les SURDADU.

Les questionnaires ont été réalisés dans l'ensemble des 62 *desa*, sans l'aide du BPPTK. Les chefs de *desa* ont disposé de deux semaines pour distribuer les questionnaires aux chefs de *dusun* et les récupérer une fois complétés. Lors du dépôt des SURDADU, les numéros de téléphones portables des chefs de *desa* ou des secrétaires de *desa* ont été complétés ou recueillis. Deux semaines après, des SMS ont été envoyés aux différents contacts des *desa* afin de s'assurer que les questionnaires étaient complétés. Le dépôt et la collecte des SURDADU ont été effectués entre le 1^{er} avril et le 30 mai 2011.

Beaucoup moins de problèmes ont été rencontrés que pour le PODUS, seuls quelques chefs de *dusun* très occupés par la reconstruction ou la gestion de villages sinistrés ont mis plus de temps à répondre. La même minorité de chefs de *desa* qui demandaient une compensation financière lors de la réalisation des PODUS a posé des problèmes de retard mais a finalement collaboré après plusieurs relances de notre part.

1.2.3. Groupe de discussion participative

Un groupe de discussion participative post-éruption a été réalisé en mai 2011 afin d'étudier la perception du risque, les impressions de la gestion de la crise et des évacuations et affiner nos données. Le choix du *dusun* pour cette discussion s'est porté sur le *dusun* Bronggang. Situé à 14 km du sommet du Merapi et au bord de la rivière Gendol, le village a été frappé par les déferlantes de coulées pyroclastiques malgré le fait qu'il ne se situait pas dans une zone à risque élevé, selon la carte réglementaire des zones de dangers publiée par le CVGHM avant l'éruption.

Alors que le niveau d'alerte était encore au niveau 4 (évacuation) puis a été baissé au niveau 3 (alerte), une série d'entretiens a été réalisée dans les camps de réfugiés et aussi dans les villages impactés par les nuées ardentes de 2010, peu de temps après le retour des habitants dans leurs villages. Ces premiers entretiens se sont révélés incomplets ou incohérents. Les villageois, encore sous le choc, avaient besoin de parler de leur vécu mais faute de recul suffisant, les informations recueillies n'étaient pas exploitables car elles n'étaient ni claires ni ordonnées. Les entretiens ont donc été suspendus durant les premiers mois suivant l'éruption. Durant cette période de latence, des informations sur les impacts de l'éruption ont été collectées auprès des responsables administratifs du *dusun* Bronggang. Une prise de contact auprès des villageois récemment rentrés a été amorcée, notamment avec la

communauté de jeunes du *dusun*. Elle a permis de faciliter l'organisation et le déroulement de la discussion participative.

La discussion a eu lieu au bureau de l'association des jeunes du village, avec le chef du *dusun* Bronggang, deux femmes commerçantes et quatre jeunes de l'association des jeunes du village. Les deux modérateurs étaient un Français parlant indonésien et une Indonésienne parlant javanais. L'essentiel de la discussion s'est déroulée en indonésien, seul quelques phrases, mots et relances ont été faites en javanais.

Durant la discussion, les habitants ont raconté la chronologie de leur vécu pendant l'éruption :

- avant : la perception du risque, les moyens de communication, la prévention, les systèmes d'alertes ;
- pendant : l'ordre d'évacuation, la diffusion de l'information, l'organisation de l'évacuation, l'acheminement des secours, les différentes évacuations, les impressions, les moyens de transports, les problèmes rencontrés ;
- après : le retour au village, l'organisation communautaire, la reconstruction du village, les pertes, la réadaptation, les camps de réfugiés pour ceux qui ont perdu leur maison, le développement du tourisme, les extractions de sable, la reconstruction, la perception du risque...

Tous les participants ont ouvertement discuté et parfois débattu sur l'ensemble des thèmes abordés, sans subir de pression de la part d'un autre participant de par ses responsabilités ou son âge.

1.2.4. Études de terrain complémentaires

La rencontre avec d'autres chercheurs a permis de pousser les recherches au-delà de nos domaines de compétences. La participation à des recherches menées par d'autres scientifiques a permis d'obtenir des résultats complémentaires à la thèse et de comprendre des mécanismes jusqu'alors peu étudiés : sismologie, volcanologie et génie civil.

- Du point de vue sismologique, l'éruption de 2010 a été étudiée dès le 26 octobre et jusqu'à fin novembre, quotidiennement, au centre de volcanologie de Yogyakarta (BPPTK) avec M. Surono, puis avec P. Jousset du BRGM. Durant cette période, l'activité du volcan a été observée à travers les différents appareils de surveillance disponibles au BPPTK. Une série

de rapports a été rédigée pour le programme MIA VITA et pour l'Ambassade de France à Jakarta.

- La partie volcanologique de l'éruption a été étudiée lors de trois missions sur le terrain avec J.C. Komorowski, physicien à l'Institut de Physique du Globe de Paris. Une première à la fin de l'éruption entre fin novembre et début décembre 2010, une seconde en juillet 2011 et une troisième en novembre 2011.

Ces études ont permis d'étudier les différents dépôts de l'éruption et d'en comprendre les mécanismes de formation. Une série d'analyses de dépôts, croisée avec un traitement d'images satellites, a permis d'établir une carte des zones impactées par l'éruption en dissociant les *blasts* (souffle dévastateur à vitesse rapide et haute température), les déferlantes et les coulées pyroclastiques (Komorowski et al., 2013).

- Les impacts sur le bâti ont été étudiés en collaboration avec S. Jenkins de l'entreprise Cambridge Architectural Research Ltd. Deux missions ont été menées conjointement, une première à la fin de l'éruption entre fin novembre et début décembre 2010 et une seconde en juillet 2011.

La collaboration avec S. Jenkins a permis d'étudier, selon une approche différente, les impacts de l'éruption sur le bâti. Ces recherches avaient pour but d'observer les impacts des écoulements pyroclastiques, en étudiant les conditions préalables des bâtiments. Et à l'inverse, de déterminer le type d'aléa à partir des impacts sur le bâti et autres preuves matérielles (traces de brûlures dans une maison, fonte d'objets dans les maisons,...). Pour chaque maison sélectionnée le long des rivières Gendol et Opak, une série d'analyses a été réalisée et les données ont été géo-référencées dans un Système d'Informations Géographique (SIG).

Ces recherches ont permis de croiser les données interprétées à partir d'images satellites avec les données de terrain (Jenkins et al., 2013).

1.2.5. Acquisition de données secondaires

Une série de données brutes concernant la surveillance du Merapi a été collectée au BPPTK. Ces données sont les rapports de la surveillance quotidienne du Merapi depuis les dix dernières années qui recensent :

- les écoulements pyroclastiques ;

- les tremblements de terre tectoniques ;
- les tremblements de terre volcaniques (VA et VB) ;
- les tremblements basses fréquences ;
- les tremblements de terre multiphases ;
- les *guguran*.

Ces données ont permis d'étudier la chronologie de l'éruption du point de vue volcanologie et sismologique ainsi que d'essayer de mettre en relation l'activité du Merapi lors de l'éruption et ses impacts démographiques et socio-économiques.

Du début de l'éruption, fin octobre 2010, jusqu'à fin janvier 2011, des coupures de presse traitant du volcan ont été collectées dans un journal local, *Kedaulatan Rakyat* et un journal national, *Kompas* : Pour chaque journal, les articles concernant le volcan ont été découpés quotidiennement, rassemblés et insérés dans une base de données.

La phase de terrain de l'ensemble de cette étude a duré trois ans. Durant cette période, de nombreux contacts ont été établis avec les différentes administrations et entreprises privées, ce qui a permis de collecter une importante base de données et d'informations dans différents domaines tels que les transports, le tourisme, la culture,... Durant les phases de collecte de données des interviews complémentaires ont été menées afin de compléter les données. Nous avons également assisté à de nombreuses conférences à l'université d'UGM de Yogyakarta et au BPPTK. D'autres acteurs ont partagé leurs informations et leurs données tels que l'hôpital Sarjito, des ONG (Handicap International, ASB,...), Indonesian Heritage Society, et de nombreux entretiens informels ont enrichi notre travail.

2. Traitement des données

La suite de la méthodologie a consisté à réaliser une cartographie des limites de *dusun* alors inexistante d'un Système d'Informations Géographiques (SIG). Puis les données récoltées ont été ajoutées dans la base de données du SIG, ce qui a permis de les analyser et de les représenter cartographiquement. Enfin, une étude par photo-interprétation a été menée afin d'étudier les impacts causés par les écoulements pyroclastiques.

2.1. Mise en place d'un Système d'Informations Géographiques

2.1.1. Amélioration des données acquises au BAKOSURTANAL

En juillet 2009 le programme MIA VITA a permis d'acheter une série de six cartes géoréférencées en format .shp (shape file) auprès du BAKOSURTANAL, *BAdan KOordinasi SURvei dan pemeTAan nasioNAL* (Agence nationale de coordination d'enquêtes et de cartographie). Ces cartes datent de 2008 et leurs dernières données de terrain ont été actualisées en 1996.

Le SIG comporte six couches correspondant chacune à un type d'information :

- la couche « *infrastruktur* » est constituée de points qui correspondent aux différentes infrastructures, classées par type (lieux de culte, hôpitaux, bâtiments administratifs,...) ;
- la couche « *sungai* » est constituée de *polylines* qui correspondent à différents types de cours d'eau (cours d'eau principal, petites rivières et cours d'eau saisonnier). Dans la couche acquise, les cours d'eau étaient composés d'une succession de segments parfois discontinus qu'il a fallu raccorder afin d'obtenir une meilleure cartographie des cours d'eau ;
- la couche « *kontur* » est une couche de *polylines* correspondant aux courbes de niveaux d'une équidistance de 50 mètres ;
- la couche « *jalan* » est une couche *polylines* correspondant aux types de routes (sentier, route communale, départementale, régionale, ...) ;
- la couche « *landuse* » est une couche de type polygone (Fig. 32) correspondant à l'occupation des sols (forêt, différents types de culture, espace bâti,...) ;

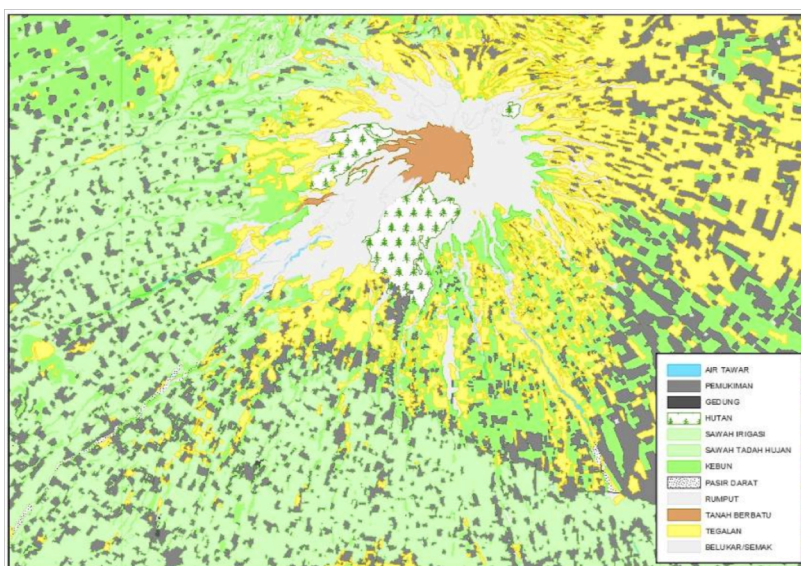


Figure 32. La couche "landuse".

- la couche « *admin_desa* » est une couche de type polygone correspondant aux limites des *desa* ;
- la couche « *lignesdesa* » est constituée de *polylines* représentant les limites administratives des *desa*.

Dans les données achetées, la précision des limites des *desa* n'était pas satisfaisante, les frontières de certains *desa* étant beaucoup trop « lissées », d'autres données ont été utilisées (Fig. 33). En juillet 2009, 12 cartes numérisées plus précises, venant du BAKOSURTANAL ont été obtenues auprès de la faculté de géographie de l'Université UGM de Yogyakarta. Ces fichiers sont des *shapefiles*, au format .shp.

C'est cette couche qui a été utilisée dans cette étude comme couche de référence pour les limites des *desa*.

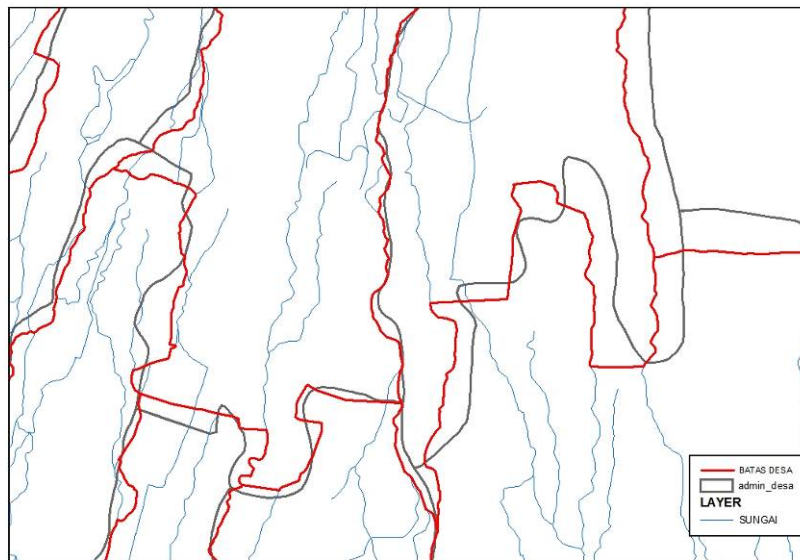


Figure 33. Comparaison des limites des *desa* suivant l'origine des données.

Pour compléter le SIG, le centre de volcanologie de Yogyakarta a mis à disposition pour cette étude une série de cartes concernant le volcan Merapi :

- carte géologique
- carte des zones de dangers
- cartes et données portant sur les éruptions antérieures à 2010

2.1.2. Modification de la couche *desa* en polygones

Les limites des *desa* étant dans une couche d'objets de type *polylines*, il n'est pas possible de les utiliser pour calculer des surfaces, des densités ou pour créer des cartes thématiques. La couche *desa* a donc été transformée en couche de polygones.

Pour créer une couche polygone à partir d'une couche *polylines* toutes les lignes doivent être d'abord fermées. Une mosaïque des cartes disponibles a été créée. Puis les cadres autour des neuf cartes ont été supprimés. La mosaïque a ensuite été corrigée en faisant correspondre les intersections entre les lignes des différentes cartes et en effaçant les segments inutiles. Toutes ces manipulations ont été réalisées grâce au logiciel Arc GIS. Une fois ce travail terminé, dans Arc Catalog, la couche *desa* a été transformée en couche polygone. Une nouvelle table comprenant les limites des *desa* et leur nom fourni par les données du BAKOSURTANAL a été créée à partir de la couche polygone *desa*.

2.1.3. Cartographie des limites de *dusun*

Actuellement en Indonésie, la plus petite unité administrative cartographiée est le *desa* (commune). Il n'existe pas de SIG ni de cartes indiquant les limites des *dusun* (village). Une campagne nationale de cartographie a commencé et devait être terminée à la fin de l'année 2009. Début 2012, la campagne de cartographie n'était toujours pas terminée et aucune carte n'a été publiée.

Dans l'incertitude d'obtenir ces cartes, une cartographie participative des limites de *dusun* a été entreprise dès 2009. Dans l'attente de l'acquisition d'une image satellite, une série d'images Quickbird et Ikonos a été exportée à partir du serveur de Google Earth. Ces images, datant de juillet 2003 pour les flancs les plus bas et de mai et juin 2006 pour les zones plus proches du sommet du Merapi ont été ensuite géoréférencées. Afin d'avoir une résolution optimale pour identifier des objets sur le terrain, 60 captures d'images ont été téléchargées. Chaque capture a été géo référencée sous Arc Map afin de pouvoir les utiliser dans un SIG. Ces images couvrent l'ensemble de la zone d'étude.

Ces captures ont été ajoutées dans un SIG afin d'y ajouter les limites de *desa* acquises précédemment. Une série de cartes a été imprimée à l'échelle du *desa* pour entreprendre la cartographie des limites de *dusun*, de manière participative, avec les chefs responsables administratifs de chaque *desa*. Très vite cette méthode a été abandonnée car la plupart des habitants des villages n'arrivaient pas à lire les images satellites, à différencier les bâtiments

(maison, mosquée, ...) et objets repères (croisement de route, pont, rivière,...) ni à se repérer spatialement.

Une seconde méthode de cartographie a été mise au point. À partir du SIG amélioré, une série de cartes géo-référencées et simplifiées permettant d'identifier facilement les différents objets du quotidien des villageois (ponts, mosquées, carrefours, champs secs/rizières) a été imprimée. Afin de tester cette nouvelle méthode, une série de cartes a été réalisée dans les communes voisines du poste d'observation de Babadan. De manière participative, et en collaboration avec l'aide d'un représentant du BPPTK, des responsables des *desa*, rencontrés dans leurs bureaux, ont tracé au feutre les limites des *dusun* de leur *desa* et inscrit les différents noms des *dusun*, sur des cartes fournies au format papier.

Sur les cartes simplifiées fournies, apparaissaient les limites de *desa*, les routes et les rivières principales et une sélection d'informations liées à l'occupation des sols (bâti, forêt, rizières, jardins, herbes, sable, terrains secs). Une carte par *desa* a été réalisée puis imprimée (Fig. 34).

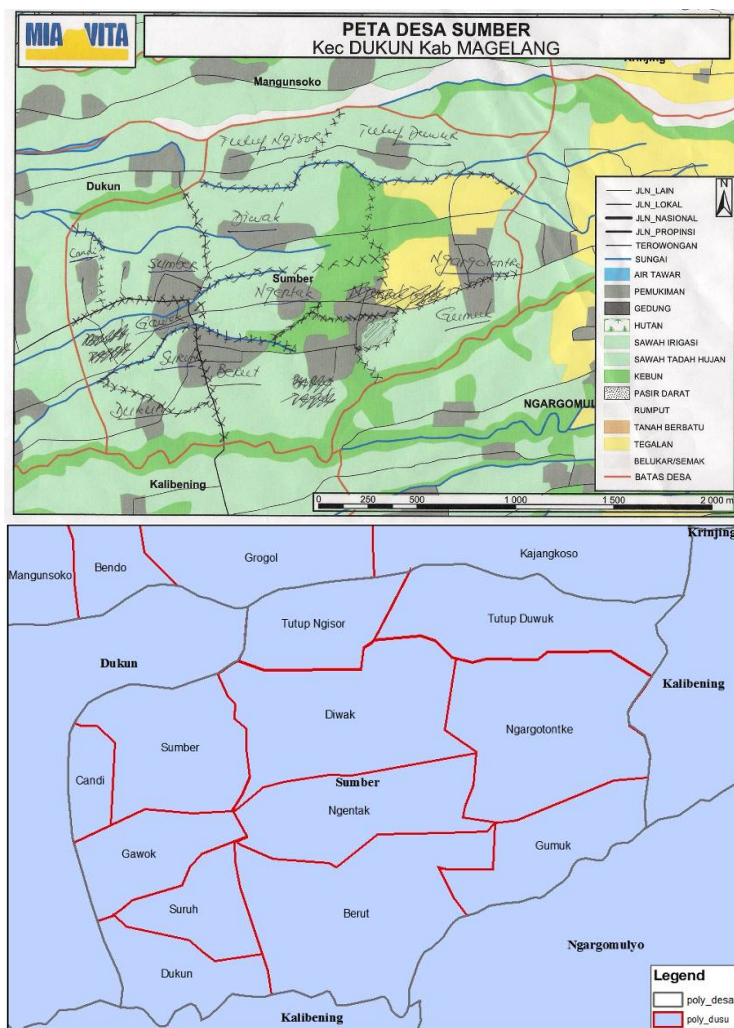


Figure 34. Carte complétée par les responsables du *desa* de Sumber, puis insérées dans le SIG.

Ayant fonctionné dans les villages tests, cette méthode a été appliquée pour cartographier les limites des *dusun* des 62 *desa* les plus en amont et les plus exposés aux aléas du Merapi.

La dernière étape a consisté, dans le SIG, à diviser les polygones des *desa* en *dusun* sur une couche différente (Fig. 34). À chaque *dusun* a été attribué un code numérique unique comportant une lettre correspondant au *kabupaten* suivie de deux chiffres identifiant le *kecamatan* puis deux chiffres pour le *desa* (annexe G). Enfin un nombre à deux chiffres a été donné pour chaque *dusun*, par ordre de saisie. Un code de forme X000000 a donc permis d'éviter les doublons dans la base de données. En effet de nombreux *dusun* sur le volcan ont le même nom.

2.1.4. Cartographie de données socio-économiques par *dusun*

Un des objectifs de cette étude était de réaliser une cartographie des facteurs de vulnérabilité des populations du Merapi et des impacts de l'éruption de 2010. Or dans cette optique l'échelle du *desa* n'est pas adaptée. Certains *desa* ont une forme rectiligne parallèle à la pente du volcan sur plusieurs kilomètres. Souvent, dans ces *desa*, les densités de population sont différentes entre les *dusun* situés en amont et ceux situés en aval en raison de la pente et de la présence de forêts. Il peut y avoir de fortes disparités socioéconomiques d'un *dusun* à l'autre. La perception du risque des habitants vivant dans un *dusun* situé en amont et ceux vivants dans un *dusun* en aval diffère également.

De plus, au Merapi, la partie amont du volcan est occupée par le *Taman Nasional Gunung Merapi* (parc national du mont Merapi) qui est un parc naturel protégé et interdit à l'habitation. La partie sommitale des *desa* situés les plus en amont est donc inhabitée. Lors des calculs de densités de population, la partie occupée par le parc naturel était comprise dans la superficie des *desa* malgré l'absence d'habitations dans la zone, ce qui fausse les calculs de densités de populations.

La vulnérabilité des habitants du Merapi a donc été étudiée non seulement à l'échelle des *dusun* mais en excluant la partie du parc national du Merapi de l'étude.

Une fois les questionnaires PODUS et SURDADU complétés par les chefs de *dusun*, les données ont été saisies dans le logiciel SPHINX. Ce logiciel permet d'exporter les données sous forme de tableau Excel et d'effectuer un traitement et une analyse rapide des données. Après avoir exporté les données au format .dbf, la base de données a été reliée au

SIG. Le lien entre les *dusun* du SIG et les résultats du questionnaire a été effectué grâce à l'identifiant unique « id_dusun » composé d'une lettre et de six chiffres.

2.2. Photo interprétation

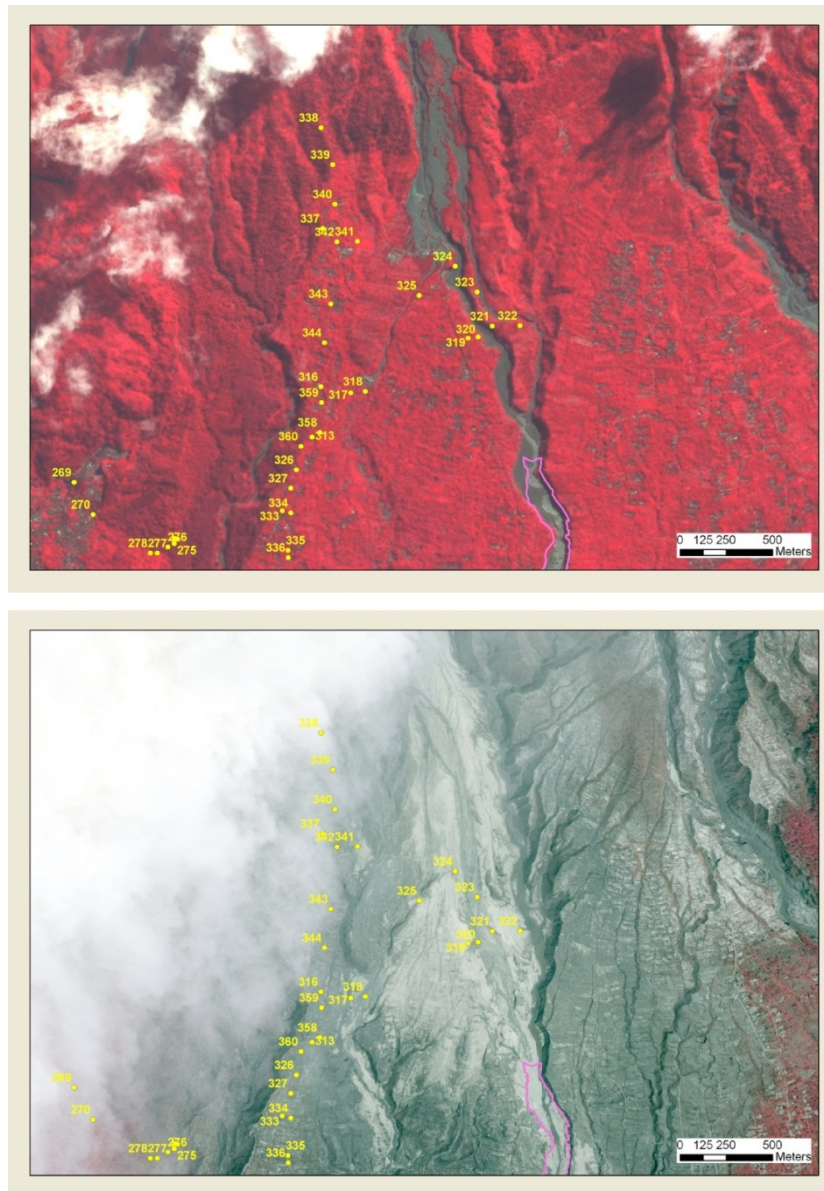


Figure 35. Zone affectée par les coulées pyroclastiques
Images SPOT5 et Digital Globe

L'étude de photo interprétation a été réalisée avec C. Vidal à partir d'une série d'images satellite multispectrales : QuickBird de 2006, de résolution 50 cm, DigitalGlobe de 2010 ainsi que d'images SPOT 5 (image multispectrale de résolution 10 m) de 2008 et 2010, analysées grâce au logiciel ENVI 4.7 (Fig. 35). Appartenant au système de coordonnées Datum WGS 84 (système géodésique mondial), ces images ont été projetées selon les

paramètres de projection Transverse Mercator UTM 49S, système de projection correspondant aux standards indonésiens d'information géographique en vigueur pendant le déroulement de l'étude.

Le traitement des données SIG extraites des questionnaires collectés sur le terrain a été réalisé avec le logiciel ArcGIS 10. La base de données géographique du BAKURURTANAL, a servi de base au travail de spatialisation des dommages. À partir des couches d'informations sur les routes, les limites de communes (*desa*), la topologie et le réseau hydrologique de la région du Merapi, une nouvelle couche contenant les limites de hameaux (*dusun*) a pu être élaborée suivant les indications fournies par les chefs de *dusun* sur le terrain.



Figure 36. Photointerprétation des images satellitaires

afin d'étudier les impacts sur le bâti. Images SPOT 5 (2006) et Digital Globe (2010)

Une couche de points recensant le bâti a été créée dans un SIG à partir de l'image SPOT 5 de 2006. Les points ont ensuite été placés sur l'image Digital globe - post-éruption - de 2010 (IPGP), ce qui a permis de recenser les infrastructures détruites par les écoulements pyroclastiques.

Afin de pouvoir estimer les pertes humaines et matérielles, il a été nécessaire de digitaliser les infrastructures de la zone étudiée dans une couche de points en interprétant l'image satellite QuickBird de 2006 (Fig. 36).

Les zones affectées par les écoulements pyroclastiques ont été déterminées par photo-interprétation des images SPOT 5 et Digital Globe post-éruption (Fig. 36). Trois zones ont été identifiées selon des critères définis par Kelfoun (Kelfoun *et al.*, 2000), basés sur l'état des arbres :

- la zone de dépôts des coulées pyroclastiques et de blocs, dans laquelle tout a été recouvert ou arraché ;
- la zone de dépôts des déferlantes pyroclastiques où les arbres sont soit couchés, soit encore debout mais nus ou fendus ;
- la zone d'arbres feuillus légèrement brûlés.

La cartographie de l'usage du sol a été réalisée à partir de l'image satellite Digital Globe 2006. Afin d'augmenter l'impact visuel de la végétation sur l'image, les bandes 2, 3 et 4 correspondant respectivement au vert, rouge, et au proche infrarouge ont été sélectionnées.

Le NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) a été calculé pour améliorer la différenciation entre la végétation et les zones urbaines. Ce traitement n'ayant pas été suffisant pour les différencier, il a été nécessaire de créer un masque des infrastructures à partir de la couche de points SIG précédemment réalisée. Grâce à la création de zones tampons autour de chaque point dans ArcGIS une couche de polygones couvrant toutes les zones urbaines a été obtenue, utilisée ensuite comme masque sur l'image satellite dans le programme ENVI. Une classification non supervisée a permis d'identifier tous les composants de la végétation et les séparer, pour réaliser ensuite une classification supervisée, laquelle a pour but d'identifier et de spatialiser tous les éléments de la végétation recherchés : les rizières, les cultures sèches, les sols nus, les terrains en friches et les forêts. L'application d'un filtre Kernel moyen a permis d'éliminer les incohérences dues à la luminosité des éléments de l'image. Enfin, les différents composants de l'usage du sol ont été convertis en couches de polygones exploitables dans ArcGIS.

En croisant les données statistiques extraites des questionnaires et les données SIG obtenues par photo-interprétation, des cartes traitant les différents aspects abordés par cette étude ont pu être réalisées.

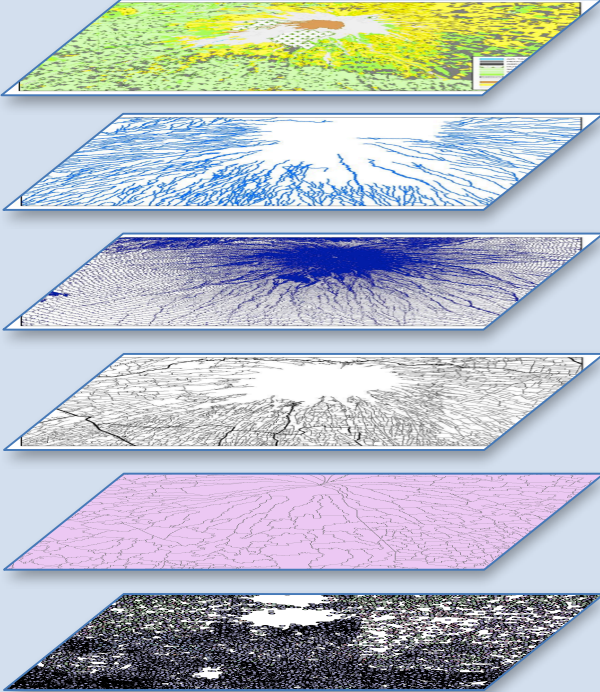
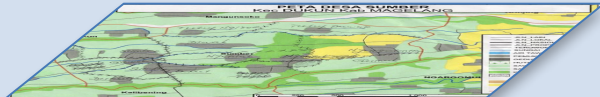
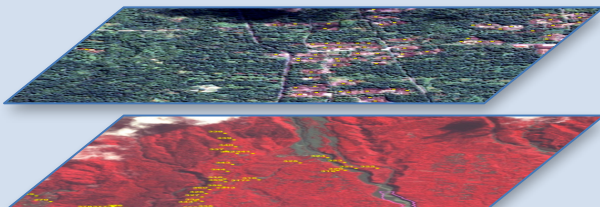
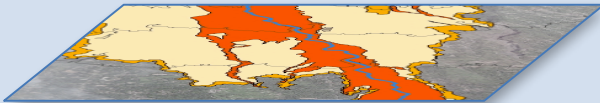
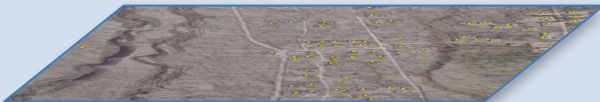
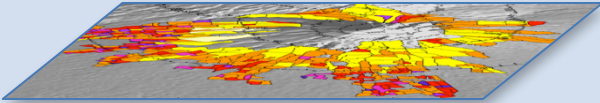
<p>1. Acquisition de cartes du BAKOSULTANAL</p>		<p>Utilisation du sol</p> <p>Rivières</p> <p>Courbes de niveaux</p> <p>Routes</p> <p>Limites de desa</p> <p>Infrastructures</p>
<p>2. Cartographie participative des limites de <i>dusun</i></p>		<p>Polydusu</p>
<p>3. Acquisition d'images satellites</p>		<p>SPOT 5</p> <p>Quick Bird</p>
<p>4. Photo interprétation des zones affectées par les nuées ardentes</p>		
<p>5. Cartographie de l'usage du sol à partir des images satellites</p>		
<p>6. Synthèse et mises en place de cartes d'impacts</p>		

Figure 37. Tableau de Synthèse du SIG sur l'étude des impacts de l'éruption de 2010 au Merapi.

Cette méthodologie est originale : il a été nécessaire de créer un nouveau maillage cartographique et de l'enrichir de nouvelles données de première main qui ont permis de palier la carence de statistiques à l'échelle locale. La méthodologie a respecté les différentes étapes d'acquisition de données statistiques en science sociales en qualifiant l'information recherchée, en la quantifiant puis en la confirmant, avant de l'analyser. La combinaison des données nous a permis d'obtenir une série de cartes d'impacts (Fig. 37). La méthodologie a également fait appel à des connaissances pluridisciplinaires dans le cadre de l'étude des impacts très variés, en collaboration avec des chercheurs de différents domaines : volcanologie, médecine, génie civil, aéronautique,...

SECONDE PARTIE :

Les impacts démographiques et culturels de l'éruption : analyse multiscalaire



INTRODUCTION

Le Merapi étant le volcan le plus peuplé au monde, les enjeux sur ses flancs sont très importants. Aux fortes densités de populations qui le peuplent s'ajoutent un contexte culturel très particulier très connu dans l'ensemble de l'archipel.

Cette partie a pour but d'étudier les impacts démographiques et culturels de l'éruption ainsi que la réadaptation post-crise des populations et du gouvernement. L'intérêt de cette partie est de comprendre les raisons pour lesquelles une éruption de l'intensité de celle de 2010, dans une zone fortement peuplée et dans ce haut lieu culturel a fait plus de 300 victimes ; et de déterminer si l'éruption a entraîné des bouleversements majeurs sur le plan démographique, culturel mais aussi sur l'aménagement du territoire des parties amont du Merapi.

Avant tout il est nécessaire de contextualiser cette étude dans les recherches déjà menées afin de comprendre dans quel cadre se situe cette thèse. Par quels processus les éruptions font-elles des victimes ? Et quels peuvent-être les impacts culturels d'une éruption ?

Les éruptions volcaniques explosives peuvent être extrêmement destructrices et meurtrières, causant parfois la mort de plusieurs milliers de personnes dans des zones d'habitations (Tilling et Lipman, 1993). Depuis l'éruption la montagne Pelée en 1902 qui détruisit complètement la ville de Saint-Pierre, en Martinique, faisant plus de 28 000 victimes (Lacroix, 1904), il a été largement admis qu'il n'est pas possible de survivre aux écoulements pyroclastiques, mais des preuves fournies à la suite des éruptions majeures du siècle dernier remettant en cause ce point de vue. Baxter (1990) montra qu'en périphérie des écoulement pyroclastiques, les impacts peuvent s'atténuer rapidement et une protection peut être assurée par des bâtiments résistants et biens isolés.

Selon la taille de l'éruption, les personnes situées dans les zones distales à l'écoulement pyroclastique, peuvent avoir des chances de survie. À ces endroits, la propagation des flux est ralentie à cause de la perte de son élan ou de la topographie. Les faibles valeurs de pression dynamique caractérisent également la propagation du flux dans la zone distale, où les bâtiments sont donc plus susceptibles de résister à la pression dynamique de l'écoulement, restent intacts et peuvent protéger les occupants (Baxter et al., 1998).

• Les blessures et les décès dans les éruptions volcaniques

Lors des éruptions du Vésuve de 1631 (Rosi et al., 1993) et du Krakatau de 1883 (Carey et al., 1996), il a été constaté que les décès liés aux écoulements pyroclastiques étaient dus à la chaleur et l'asphyxie provoquée par des cendres qui obstruent les voies respiratoires. Lacroix (1904) a également décrit des lésions thermiques de la peau et des voies respiratoires chez les victimes frappées par l'éruption, au bord de l'écoulement pyroclastique de la montagne Pelée de 1902. Il a également constaté que les personnes présentes à l'intérieur des maisons au moment de l'éruption, ont été tuées par l'effondrement de bâtiments dû aux dépôts de cendres, comme ce fut aussi le cas à Pompei en 79 A.D.

Anderson et Flett (1903) étudièrent l'éruption de la Soufrière de Saint-Vincent de 1902. Ils attribuèrent environ 90 % des 1 565 décès à l'inhalation de cendres chaudes et de vapeur, et le reste à d'autres causes comme des chocs circulatoires induits par de graves brûlures dermiques (Will, 1903), des traumatismes et la suffocation liées aux cendres remobilisées par l'effondrement de toits, des incendies allumés par des dépôts pyroclastiques chauds et de la foudre.

Lors de l'éruption du mont Lamington, Papouasie en 1951, Taylor (1958) détermina le seuil de température mortel d'un écoulement pyroclastique à 200°C durant une minute et demi. L'éruption du mont St. Helens le 18 mai 1980 a permis d'approfondir ces recherches, en entreprenant des autopsies (Eisele et al, 1981; Baxter et al, 1981; Bernstein et al, 1986). Le *blast* principal de cette éruption dévasta une région faiblement peuplée. Il parcourra une distance de 28 km, il frappa 110 personnes, principalement des adultes, qui étaient à l'extérieur des bâtiments. Les 52 survivants ne subirent que des blessures mineures (Bernstein et al., 1986). De tels impacts ont été confirmés pour des coulées pyroclastiques générées par effondrement de dômes de lave à l'Unzen, au Japon en 1991 et au Merapi en 1994 (Shelley et Voight, 1995). Une zone supplémentaire a été délimitée par Eisele et al (1981), où la température et la vitesse chutent. Dans cette zone, les décès et les blessures sont alors principalement causés par des impacts de missiles (pierres, bois, objets, projetés), ainsi que des arbres qui s'écroulent.

• Capacité de survie de l'Homme face aux écoulements pyroclastiques

Une personne légèrement vêtue exposée dans l'air sec et immobile peut survivre à une température comprise entre 200 et 250 °C pendant 2 à 5 minutes (Buettner, 1950). Cependant

les écoulements pyroclastiques se déplacent rapidement à des températures de plus de 200 °C ce qui provoque des blessures thermiques graves et une mort rapide en l'absence de vêtements de protection (Baxter et al., 1998). L'inhalation de l'air sec, exempt de particules à cette température peut être tolérée pendant quelques minutes (Purser, 1995), mais la présence de vapeur d'eau ou de poussières inhalables ou de fines cendres peut réduire la température tolérée en dessous de 100 °C, engendrant des lésions thermiques dans les voies respiratoires en l'absence de protection respiratoire (masque). Des brûlures partielles et importantes peuvent survenir au bout de 10 à 100 secondes à 60 à 70 °C (Lawrence et Bull, 1976), en fonction de l'inertie thermique et de l'épaisseur de la couche de cendres en contact avec la peau (Purser, 1995).

Les victimes qui survivent à une éruption, peuvent néanmoins mourir plus tard à cause des effets d'une lésion thermique de la peau ou à cause de fines particules qui pénètrent dans les voies respiratoires et dans les petites alvéoles (Kobayashi et al., 1993). À 50 °C, le flux de chaleur dans le poumon peut-être comparé à celui de l'air sec à 200 °C (Purser, 1995). Ainsi l'inhalation de l'air saturé contenant une abondance de particules de cendres inhalables à des températures de 50 à 100 °C pourrait être très dangereux, donnant lieu à d'aiguës bronchoconstriction (contraction des muscles lisses des bronches au niveau des poumons), des lésions pulmonaires et de l'hypoxie (diminution de la quantité d'oxygène contenue dans le sang). Baxter et al. (1998) pense qu'elle pourrait expliquer les morts subites enregistrées chez les personnes ayant trouvé refuge dans les maisons. Enfin, les aérosols acides et les particules ultrafines de cendres, que l'on trouve dans les écoulements pyroclastiques (Rose et al., 1980), peuvent contribuer au cancer du poumon (Seaton et al., 1995).

En l'absence de lésion des voies aériennes, la surface du corps affecté par des brûlures partielles ou totales par contact avec des cendres chaudes et l'âge de la victime sont généralement les facteurs les plus importants qui régissent la survie (Bull, 1971). Le type de brûlures est déterminé par les vêtements, une personne vêtue d'une veste et d'un pantalon long aura trois fois plus de chances de survie par rapport à une personne portant une chemise légère et un short.

- *La protection des habitations contre une coulée pyroclastique*

Les habitations en dur peuvent résister à la pression dynamique et de transfert de chaleur dans les marges des flux. Il a été démontré qu'elles pouvaient protéger de la mort et

de blessures car l'événement dure rarement plus de quelques minutes (Fig. 38). Baxter et al. (1998) explique que les chances de survie lors d'une éruption explosive dépendent de la quantité de la protection du bâtiment. Pour fournir un abri sûr, le bâtiment doit résister à l'impact de l'écoulement et protéger contre les transferts de chaleur ainsi que de l'afflux concentré de particules, et de la pauvreté de l'air en oxygène. Ces conditions ne dépendent pas seulement de la vitesse et de la densité de l'écoulement dynamique, mais aussi du type et de la résistance de la structure des bâtiments.

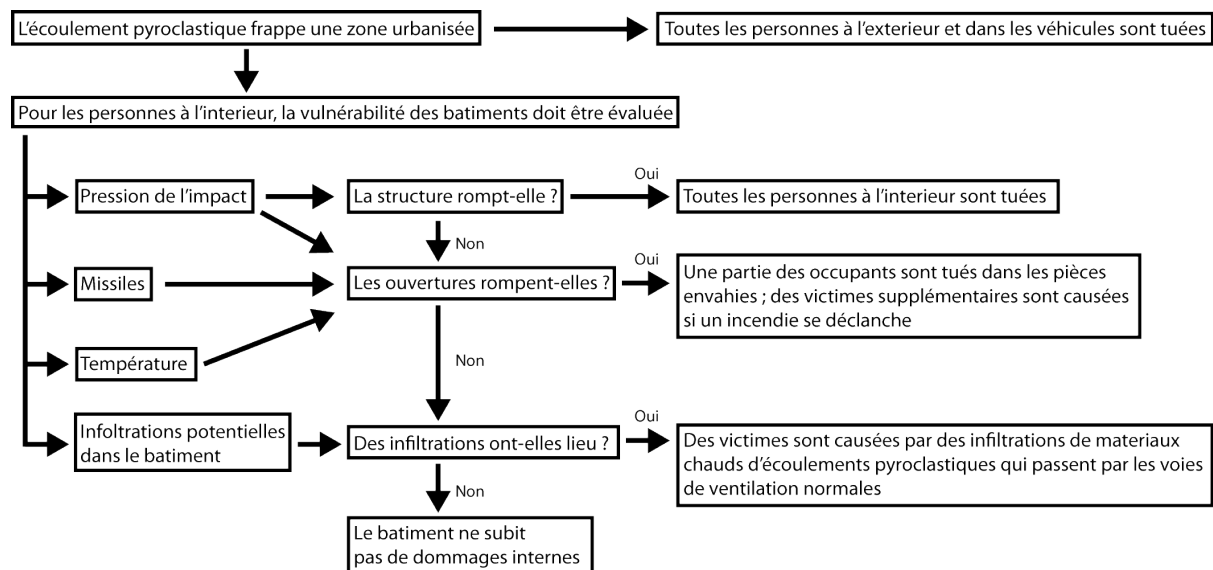


Figure 38. Facteurs qui affectent la vulnérabilité des habitations et leurs occupants lors d'un écoulement pyroclastique.

Source : Spence et al, 2007.

Selon Spence et al. (2004), dans une zone traversée par un écoulement pyroclastique, si le bâtiment n'est pas détruit, les chances de survie sont faibles pour trois raisons :

- à cause d'une mauvaise isolation des habitations liées aux ouvertures et aérations : les personnes sont tuées à l'intérieur des maisons en raison d'un afflux de cendres chaudes dans les habitations. Cela se produit si les fenêtres ou les autres ouvertures sont ouvertes au moment de l'éruption, si la pression dynamique est supérieure à la résistance de la fenêtre ou si les éventuels volets sont ouverts. Le contact direct avec les cendres chaudes peut causer des brûlures de la peau et leur l'inhalation des dommages sur les voies respiratoires. La température (plus de 400 °C) est assez chaude pour enflammer les vêtements et l'ameublement et un incendie se déclare.

- Malgré l'isolation des gaz chauds des cendres s'infiltrent. Les personnes sont tuées à l'intérieur des habitations à cause de l'infiltration des gaz chauds et de fines particules de cendre inhalable dans les habitations. Cela se produit même si les ouvertures sont fermées, en raison de l'infiltration d'air normale qui est renforcée par la hausse des pressions externes au sein de la coulée pyroclastique. Même si la teneur en cendres n'est pas élevée la température intérieure peut, sur une courte période, augmenter et atteindre le niveau au-delà duquel il n'est pas possible de survivre (50 à 100 °C).
- Les personnes tentant d'évacuer sont frappées à l'extérieur ou dans leurs voitures au moment de la coulée pyroclastique. A l'exception des zones distales de l'écoulement, la température extérieure au cours d'une coulée pyroclastique est mortelle, la teneur en cendres de l'écoulement et les débris volants sont également mortels.

Cependant dans les zones distales, touchées par les déferlantes, les chances de survie peuvent être augmentées (Spence et al, 2004). Si : les personnes sont à l'intérieur ; les infiltrations sont réduites en fermant les ouvertures (portes, fenêtres et aérations) ; les ouvertures sont renforcées, avec des volets ou des planches en bois pour boucher les ouvertures, aucun montant de fenêtre n'est en PVC (qui fondent à basse température) ; les produits inflammables et d'éventuels missiles, ne sont pas proches ou à l'intérieur de l'habitation.

La planification d'urgence pour les éruptions explosives dans les zones densément peuplées devrait donc se concentrer sur les parties distales des zones les plus exposées aux coulées pyroclastiques, où la survie est possible, surtout l'intérieur des bâtiments, et où le principal risque à la vie est l'asphyxie de l'inhalation de cendres plutôt que des lésions thermiques (Baxter et al., 1998).

Le rôle des facteurs culturels dans le comportement des populations face à des catastrophes naturelles a été soulignée par des anthropologues (Torry, 1979 ; Oliver-Smith, 1996 ; Oliver-Smith et Hoffman, 1999 ; Renn et Rohrmann, 2000). D'un point de vue sociologique, les décisions individuelles de faire face aux risques d'origines diverses sont intégrées dans les valeurs sociales et culturelles (Douglas et Wildavsky, 1982 ; Dake, 1991 ; Douglas, 1992). Les deux perspectives anthropologiques et sociologiques affirment que le comportement est déconnecté de la seule menace que pose le danger auquel l'individu est

exposé. Le danger est plutôt filtré par la perception d'un individu, qui varie en fonction des valeurs sociales, des croyances religieuses, des traditions communautaires et de l'attachement au lieu. Les risques objectifs peuvent donc différer des risques perçus. Un ensemble important d'études a souligné le rôle de ces facteurs culturels dans la représentation des risques volcaniques principalement en Asie du Sud et du Pacifique (Seitz, 2004 ; Gaillard, 2006, 2007). Chester (2005) a axé ses recherches sur l'importance de la religion alors que Blong (1982) les a centrées sur les légendes de la Papouasie-Nouvelle-Guinée.

Trois études de cas sur les volcans jumeaux Sumbing - Sindoro, sur le Merapi et sur la caldeira de Dieng (Lavigne et al, 2008) ont montré que le comportement du peuple javanais face aux menaces volcaniques est façonné par l'interaction complexe entre la perception du risque associé aux risques volcaniques, aux croyances culturelles et socio-économiques. A Java, le besoin de sécurisation des moyens de subsistance quotidienne domine sur la perception du risque volcanique tandis que les croyances religieuses permettent aux villageois de faire face à la menace en fournissant des explications alternatives au moment de la catastrophe. Les risques liés aux volcans ne peuvent donc pas être dissociés de leur contexte socio-économique et culturel comme le montre les conséquences de l'éruption du volcan Agung, précédemment décrites.

Cette partie présente les impacts démographiques de l'éruption de 2010 à plusieurs échelles. En partant de l'analyse de facteurs de vulnérabilité, l'étude présente les conséquences démographiques de l'éruption (chapitre 3). Il s'en suit une discussion sur les raisons pour lesquelles il y a eu plusieurs centaines de victimes lors de l'éruption et comment les populations ainsi que le gouvernement ont fait face aux impacts (chapitre 4).

Chapitre III : Les conséquences démographiques de l'éruption

Ce chapitre étudie les impacts démographiques de l'éruption du Merapi de 2010 en présentant tout d'abord les facteurs de vulnérabilité révélés par l'étude pré-catastrophe, puis en observant les conséquences démographiques de la catastrophe.

1. La vulnérabilité des populations du Merapi à la veille de l'éruption d'octobre - novembre 2010

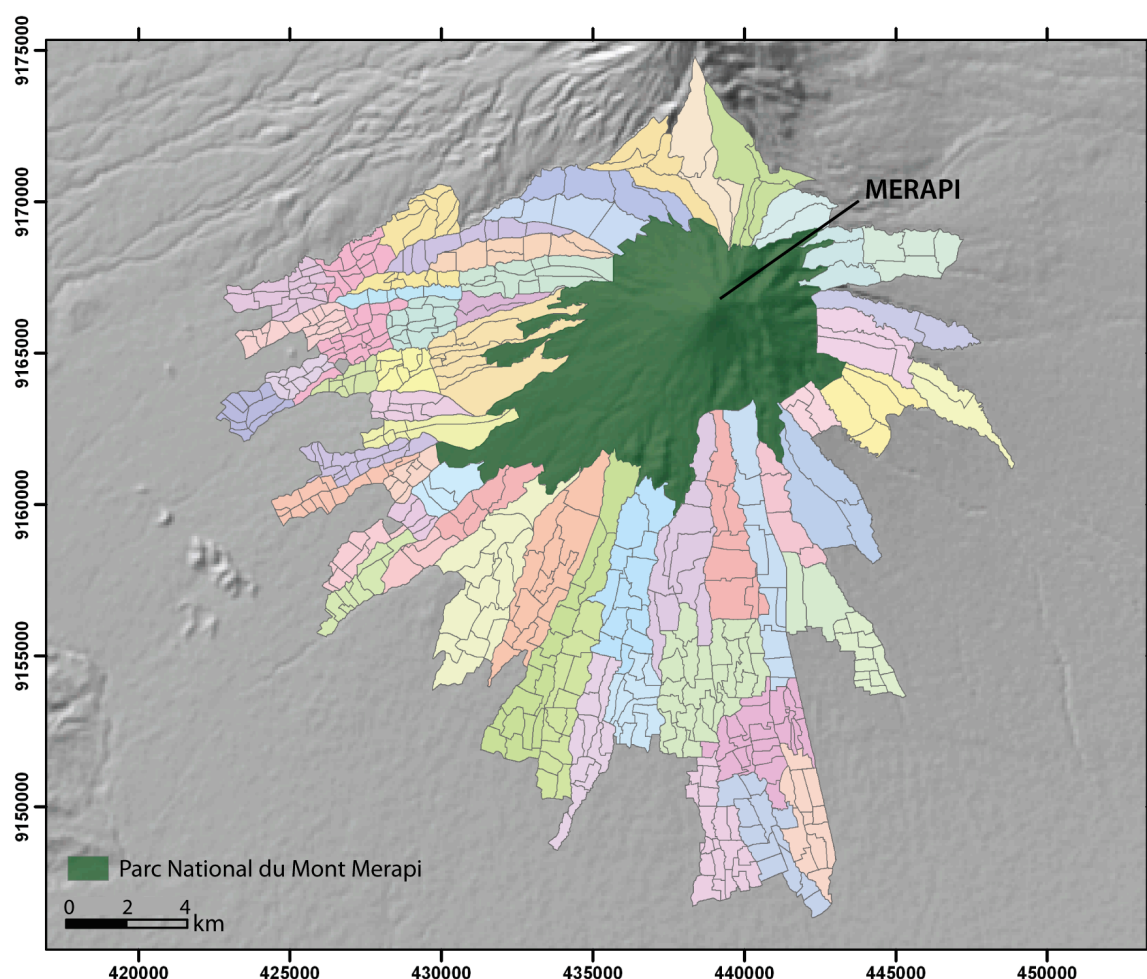


Figure 39. Carte du maillage par *dusun* et le Parc National du Mont Merapi.

La partie centrale montre le Parc National du Mont Merapi. Les entités de même couleur représentent les *desa* et les plus petites unités, les *dusun*, cartographiés lors de cette étude.

Le nouveau maillage cartographique effectué pour cette thèse correspondant au découpage des 62 *desa* situés dans les zones les plus exposées aux aléas du Merapi ont permis de créer un échantillon de 542 *dusun* (Fig. 39). Ces *dusun* ont une superficie moyenne de 0,56 km² et malgré le nouveau découpage, ceux situés les plus en amont du volcan ont une superficie plus importante que ceux situés en aval.

Comme le montre la figure 39, le Parc National du Mont Merapi recouvre la partie sommitale du volcan et représente une superficie importante de 122 km².

L'étude des impacts démographiques et culturels a été réalisée à la suite de celle de la vulnérabilité des populations vivant sur le Merapi, dans les zones de danger et interdites (KRB II et III). Les impacts démographiques ont été étudiés à deux échelles : l'échelle du volcan, permettant d'avoir une vue d'ensemble sur les conséquences catastrophiques de l'éruption ; et à l'échelle du *dusun* pour comprendre les raisons et cerner les problèmes de la gestion de crise, ainsi que l'incidence du poids culturel et de la tradition dans les villages situés à haute altitude sur le volcan.

1.1. Une forte vulnérabilité sur les flancs du Merapi

1.1.1. Des densités de population rurales très fortes

Comme dit précédemment, les données de densités de populations calculées à l'échelle du *desa* et incluant la superficie du parc national du Merapi donnent une information erronée. Celles obtenues à partir des questionnaires PODUS et intégrées dans un SIG ont permis d'élaborer une carte plus détaillée des densités de populations dans les zones les plus exposées aux aléas du Merapi.

La figure 40 montre que les densités de population des *dusun* situés dans les zones interdite (KRB III) et de premier danger (KRB II) décroissent en fonction de l'altitude. Deux exceptions sont remarquables, à l'ouest et au nord du volcan, deux *dusun* situés à plus de 800 mètres d'altitude et ont une densité de population comprise entre 2000 et 4 000 habitants par kilomètre carré.

Dans la première zone de danger, la densité de population moyenne est de 764 hab./km². Dans la zone interdite, elle atteint 505 hab./km². Ces fortes densités, localisées dans les zones les plus exposées aux aléas volcaniques, sont sources de problèmes lors des

évacuations en raison de la grande distance à parcourir pour rejoindre les lieux de refuges, de la taille réduite des routes et de leur état souvent médiocre.

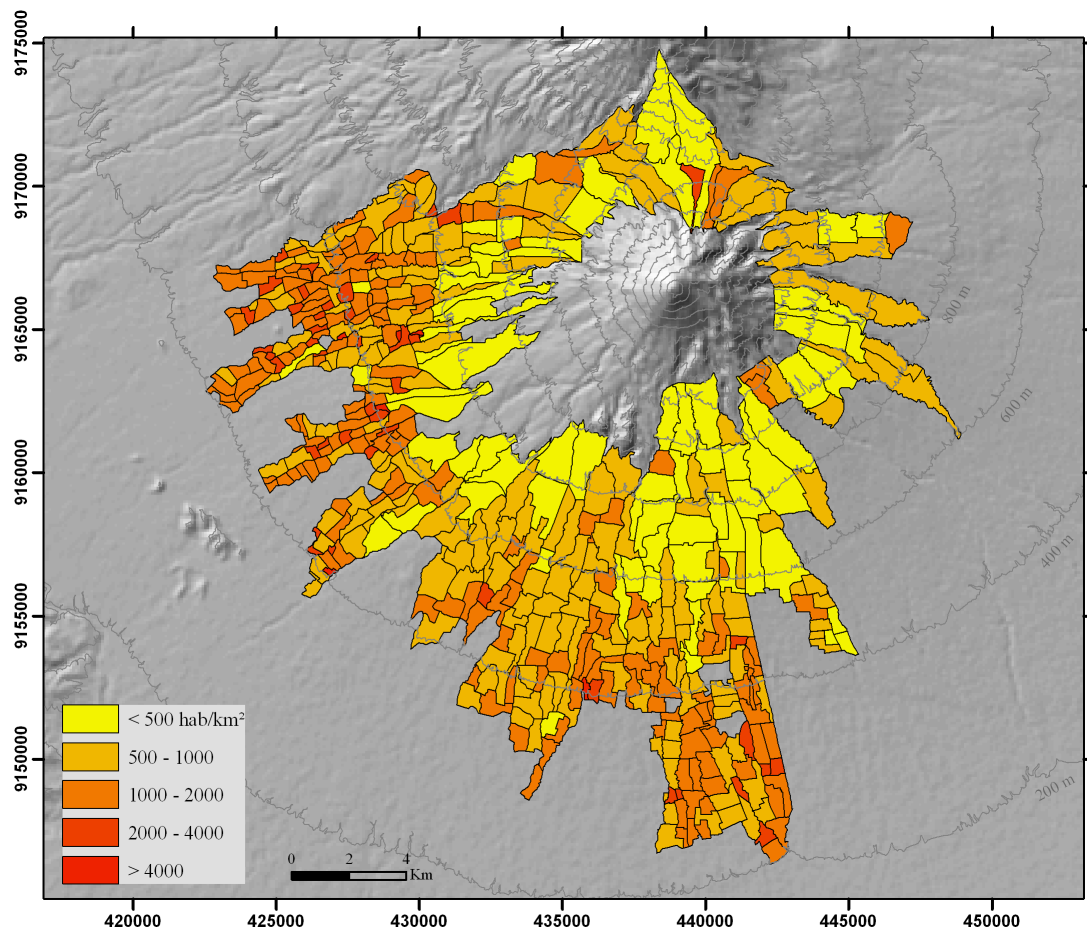


Figure 40. Carte des densités de population sur le Merapi

Au Sud du volcan, entre 200 et 400 mètres d'altitude, les densités de populations sont plus fortes en raison de la proximité à Yogyakarta et ces villages correspondent à une zone péri-urbaine. A l'Ouest du volcan, les densités sont également plus fortes car la riziculture monte haut sur les pentes du volcan, ce qui entraîne de plus fortes densités rurales.

1.1.2. Les population des plus vulnérables

Lorsqu'un ordre d'évacuation est donné sur le Merapi, les personnes les plus vulnérables sont censées être les premières à partir vers les camps de réfugiés. Souvent l'armée envoie des camions pour emmener les enfants, les personnes âgées, les femmes enceintes et les handicapés. A partir des questionnaires réalisés pour cette étude, 37 000 personnes avaient plus 55 ans, soit plus de 21 % de la population du volcan et plus de 17 %

(plus de 31 000) étaient des enfants (Fig. 41). L'évacuation des enfants est la plus simple car elle est obligatoire et l'organisation se fait en partenariat avec les écoles. Celles des personnes « âgées » (les plus de 55 ans sont considérés comme sénior en Indonésie), sont plus difficiles.

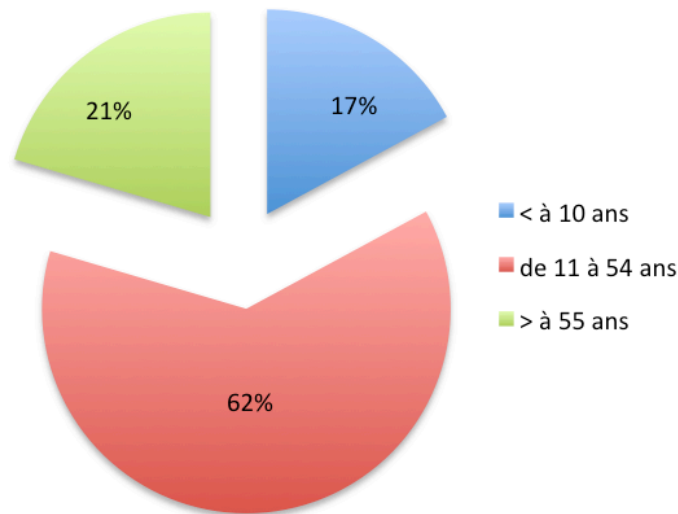


Figure 41. Structure par âge des villageois du Merapi en 2010.

D'une part, certaines personnes ont du mal à se déplacer, d'autre part elles refusent souvent de quitter leur village pour plusieurs raisons. Tout d'abord, comme tous les Javanais, elles sont attachées à leur terre. De plus, pour la plupart, elles ont déjà vécu un grand nombre d'éruptions et estiment que si elles sont encore en vie, elles n'ont jamais été réellement exposées à un quelconque risque venant du volcan. Enfin, elles n'ont pas envie d'aller vivre dans un gymnase ou un stade ni de devoir dormir sur des nattes à même le sol avec plusieurs centaines de personnes « entassées » et des enfants qui jouent et courent partout. Ces personnes préfèrent donc rester chez elles et « *Inch Allah* » (si Dieu le veut) elles resteront en vie.

Selon les représentants de villageois les personnes handicapées (2281 personnes recensées dans les zones menacées) posent deux problèmes. Tout d'abord les handicapés mentaux qui, d'après les villageois, génèrent des complications dans les camps de réfugiés. Il est difficile pour ces personnes de vivre en collectivité dans un espace clos et à proximité de personnes inconnues. Dans un camp de réfugiés il faudrait aménager pour eux des chambres à part pour vivre avec leurs proches, ce qui est rarement possible. Quant aux personnes

handicapées physique se pose une contrainte logistique : elles ne peuvent être évacuées à moto et nécessitent une voiture ou un camion pour les transporter vers les lieux de refuge.

La plupart du temps, en cas d'évacuation non contrainte, les personnes handicapées et certaines personnes âgées qui n'ont pas souhaité évacuer, restent au village et vivent entre elles. Cependant, quand elles sont évacuées – la plupart du temps quand même – elle le sont en priorité.

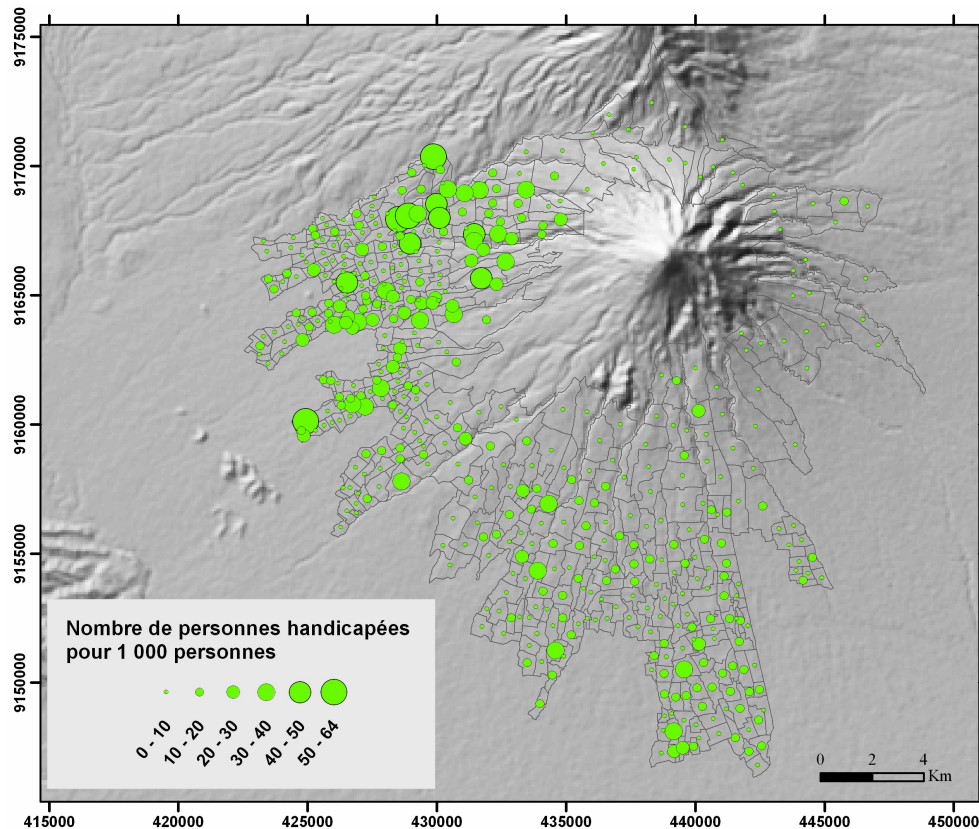


Figure 42. Répartition des personnes handicapées (physiques et mentales confondues) sur le Merapi, par *dusun*

La figure 42 montre que des personnes handicapées sont présentes dans la plupart des *dusun* du volcan et que beaucoup de villages comptent plus de 10 handicapés pour 1 000 habitants. Il est donc nécessaire de mettre à jour ces données pour les évacuations, de prévoir des moyens de transports adaptés et des lieux de refuges spécifiques dans les plans d'évacuation.

1.2. Facteurs fonctionnels de la vulnérabilité : carence de moyens de transports et vétusté des réseaux

1.2.1. Des moyens de transports insuffisants

En Indonésie, le moyen de transport privilégié est la moto en raison de son prix accessible. La voiture est un moyen de transport utilisé dans les grandes villes mais surtout réservé aux classes moyennes et supérieures de la population. Ce phénomène est renforcé sur les volcans, d'une part parce que les populations y sont majoritairement moins riches et d'autre part parce que la qualité des réseaux routiers fait que la moto est le moyen de transport le plus pratique (Mei et al., 2012).

Les résultats de l'étude menée avec le questionnaire PODUS ont recensé, dans les 60 villages situés les plus en amont sur le volcan, une moyenne de 23 voitures et 184 motos pour 1 000 habitants, soit une voiture pour 43 habitants et une moto pour 5 habitants.

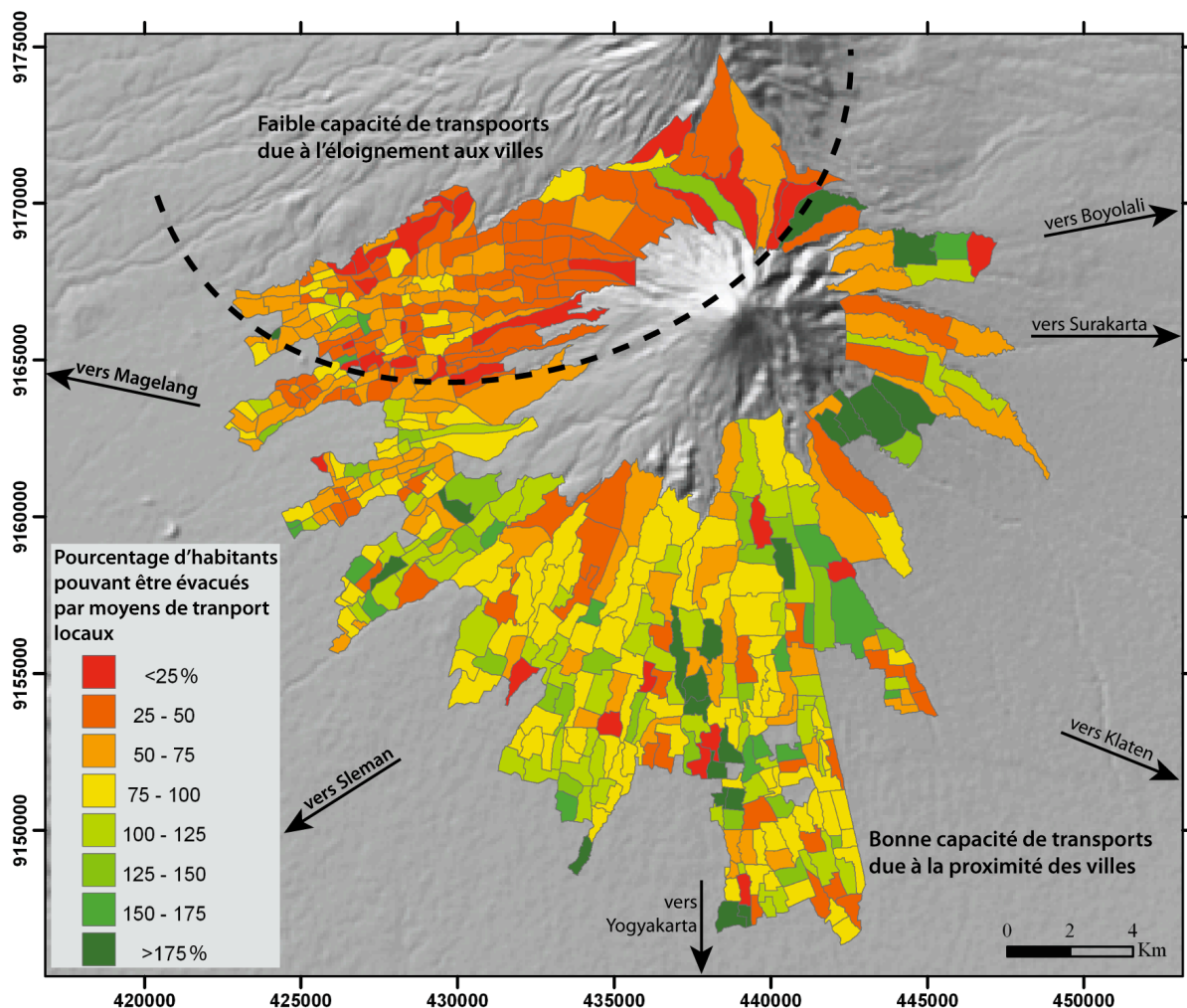


Figure 43. Capacité de transport des populations du Merapi, par *dusun*

L'étude a été poussée afin de mesurer la capacité de transport à l'échelle du *dusun* en calculant le pourcentage d'habitants pouvant être évacués par un moyen de transport local. Pour cela, il a été établi qu'un minibus et un camion peut charger 30 personnes, une voiture six et une moto trois. L'opération a consisté à diviser le nombre d'habitants par le nombre de personnes pouvant être évacué par les différents moyens de transports disponibles par *dusun*. Ainsi, un *dusun* où le taux de véhicule est inférieur à 50 %, moins de la moitié des habitants peuvent être évacués par un moyen de transport du *dusun*, là où le taux est égal ou supérieur à 100 % tous les habitants du *dusun* peuvent être évacués par les moyens de transport locaux, la capacité de transport locaux est suffisante si tous les véhicules sont sur place au moment de l'évacuation.

Cependant, ce calcul reste théorique car une partie des personnes recensées n'est pas présente quotidiennement au *dusun*. Certaines villageoises sont employées comme femmes de ménage à Yogyakarta, à Jakarta ou même à l'étranger, certains adolescents ou jeunes adultes sont étudiants et vivent à Yogyakarta ou dans d'autres villes de l'île, certains hommes sont employés, sur d'autres îles ou à l'étranger sur des chantiers, etc. Toutes ces personnes sont recensées dans les *dusun* si une partie de leur famille y est établie.

Lors des évacuations, les habitants partent majoritairement et en premier avec leurs propres moyens de transports. Il n'est pas rare de voir une famille de 4 personnes (2 adultes et 2 enfants) sur une seule moto, ce qui est un atout lors d'une évacuation. De plus ce moyen de transport est utilisé par la quasi-totalité de la population.

Les résultats montrent que sur l'ensemble du terrain d'étude, il y a un fort déficit en termes de moyens de transport et que la plus faible capacité de transport se trouve dans les *dusun* situés dans la partie nord-ouest du volcan (Fig. 43). La carte nous montre une forte disparité entre les versants nord-ouest du volcan et le versant sud-est de celui-ci, ainsi que dans les *dusun* situés les plus en altitude.

Les populations vivant au Nord-Ouest du volcan sont des villageois plus sédentaires. La majorité des habitants sont agriculteurs et vendent leurs récoltes sur les marchés proches de leurs villages. Pour s'y rendre ils utilisent des *pick-up* communs et après avoir vendu leurs récoltes, remontent au village. Par conséquent, ces familles, aux revenus modestes, installés loin des villes, investissent rarement dans des moyens de transports personnels.

Les flancs Sud et sud-est sont les *dusun* où la capacité de transport est la plus élevée. Cela s'explique principalement par la proximité aux grandes villes (Yogyakarta et Surakarta) qui génèrent de l'emploi et attirent les étudiants. Pour ces raisons, les villageois du volcan investissent dans des moyens de locomotion (essentiellement des motos) pour se rendre en

ville. De plus, les concessionnaires de ces mêmes villes se rendent régulièrement sur les flancs du volcan les plus proches et proposent aux villageois d'acheter des motos à crédit. Il n'est pas rare de croiser les habitants d'un même *dusun*, possédant le même modèle de moto, achetée à crédit à un même moment et à un même concessionnaire.

Ces raisons expliquent la disparité d'accès aux moyens de transports entre différents *dusun* des flancs du volcan. L'étude de la capacité de transport est importante car elle est un enjeu majeur dans la réussite des évacuations.

1.2.2. Un réseau routier globalement vétuste à la veille de l'éruption de 2010

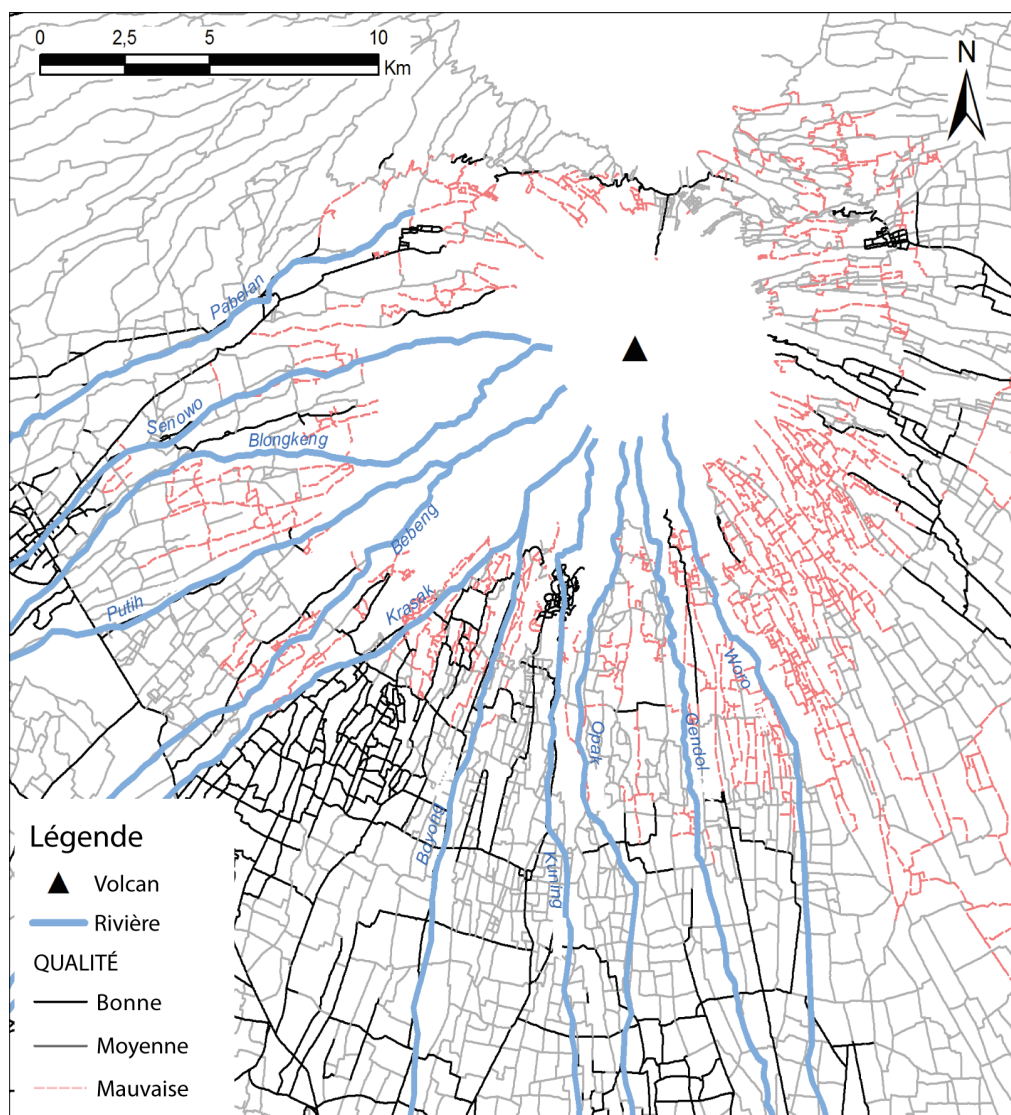


Figure 44. État des routes à la veille de l'éruption de 2010 (Mei et al., 2012)

Une typologie des routes a été établie selon trois niveaux de qualité : 1. Bonne correspond à des routes praticables à vitesse constante en cas d'évacuation ; 2. Moyenne, des nids-de-poule sont

présents sur la route ou celle-ci est parfois dégradée ou comporte des passages nécessitant au véhicule de ralentir ; mauvaise, la route est très endommagée, avec de long tronçons non goudronnés ou non cimentés ce qui nécessite de rouler lentement avec parfois des passages à pied pour les motocyclistes.

Sur les flancs du Merapi, les matériaux utilisés pour la construction des routes sont : l'asphalte, le ciment, des pierres et la terre. La largeur des routes communales est de 1,5 mètres et de 9 mètres pour les routes nationales et provinciales. La qualité des routes principales est relativement bonne, notamment sur le flanc sud-ouest du volcan. Dans la partie sud, près des rivières Gendol et Woro, les routes sont très endommagées (Mei et Lavigne, 2011 ; Mei et al., 2012). À la suite des éruptions de 2006 et de 2010, le gouvernement local et les villageois ont travaillé ensemble pour améliorer la qualité des routes en les couvrant avec de l'asphalte. Cependant, après quelques années, l'état des routes s'est dégradé en raison de l'augmentation des extractions de sable. Le ballet des camions chargés de matériaux volcaniques passant plusieurs fois par jour sur ces routes, a une incidence notable sur la dégradation des routes. À la veille de l'éruption de 2010, certaines routes d'évacuation étaient en mauvais état pour ces raisons et également pour les villages situés en altitude, notamment dans le *kabupaten* Klaten, sur les flancs sud-est (Fig. 44).

1.2.3. Des systèmes d'alerte efficaces ?

Il existe deux principaux systèmes d'alerte sur le volcan. Le premier, le *kentongan* est un gong en bois installé devant chaque mosquée, aux postes d'observation (*pos kambling*) des villages et devant certaines maisons. En cas d'alerte, les villageois frappent une série de coups sur les gongs, qui indique que l'ordre d'évacuer est donné ou qu'un danger est imminent. Les sirènes sont le deuxième moyen d'alerte. Plus moderne elles ont l'avantage d'être directement reliées aux observatoires du Merapi, l'information est plus rapidement transmise et est plus claire. Cependant, ce système est plus cher à installer, nécessite un entretien et peut tomber en panne au moment où elles sont censées donner l'alerte. Contrairement aux *kentongan* qui sont présents sur le volcan, les sirènes sont installées surtout dans les villages les plus en amont et le long de certaines rivières comme la Boyong, la Gendol et la Putih (Fig. 45).

En parallèle à ces deux systèmes, les communautés de villageois, souvent des jeunes, ont développé leurs propres systèmes d'alerte. A Partir de leurs observations, ils

retransmettent des messages et des informations à l'aide de téléphones portables ou de talkie-walkie.

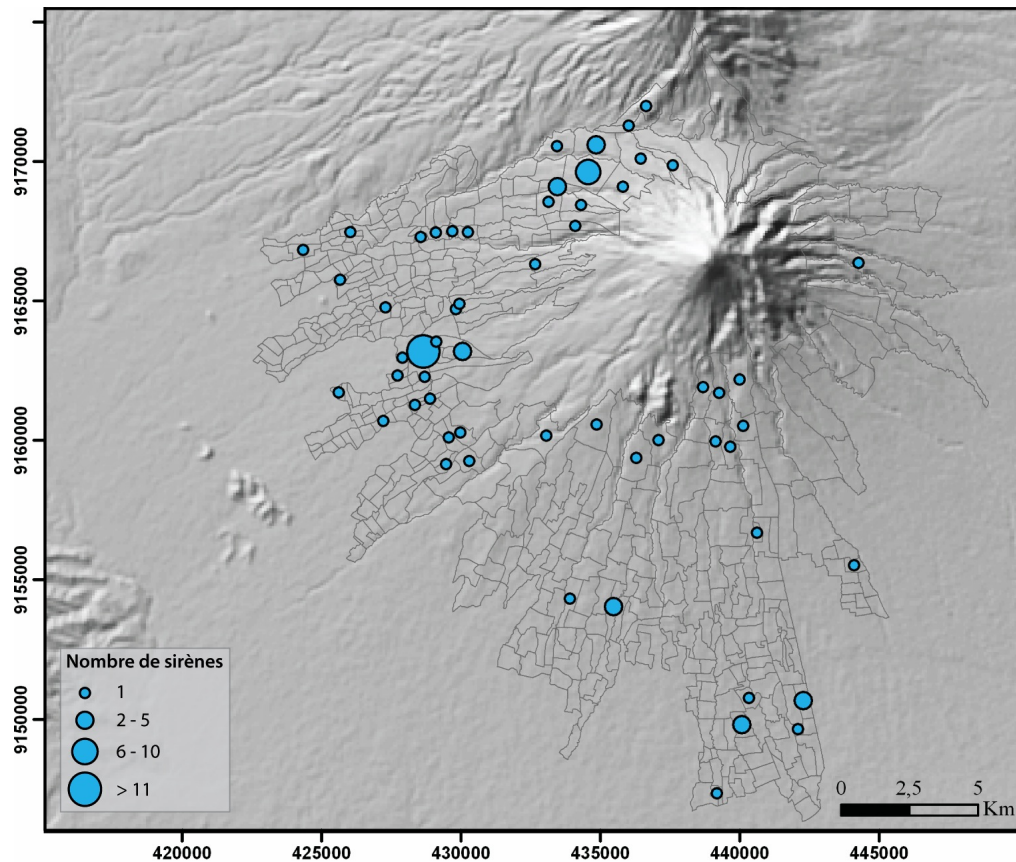


Figure 45. Répartition des sirènes sur les flancs du Merapi.

1.3. Vulnérabilité du bâti

La vulnérabilité du bâti dépend de la nature de celui-ci mais également du type d'aléa qui frappe les maisons. Lors d'une éruption, les écoulements pyroclastiques détruisent tout type d'habitation, peu importe la nature de celui-ci. Cependant, comme vu précédemment les déferlantes n'impactent pas le bâti de la même façon en fonction du type de matériaux de construction, du type et de l'état des aérations ou des ouvertures des bâtiments.

Dans la zone étudiée, les zones bâties recouvrent une superficie totale de 45 km² soit 16% de la surface de la zone d'étude. L'habitat est toujours groupé, mais sa densité est plus ou moins forte selon le mode d'occupation du sol dominant. La densité du bâti montre une opposition très nette entre les versants Est et Ouest du volcan (Fig. 46) : dans les zones rizicoles, à l'Ouest, l'habitat est très regroupé et la densité du bâti peut dépasser les 200 maisons par hectare, soit une surface habitable de moins de 50 m² par famille de 7 ou

8 personnes. Dans la partie orientale, davantage vouée aux cultures sèches, l'habitat est plus lâche sans pour autant devenir dispersé et les maisons y sont plus grandes.

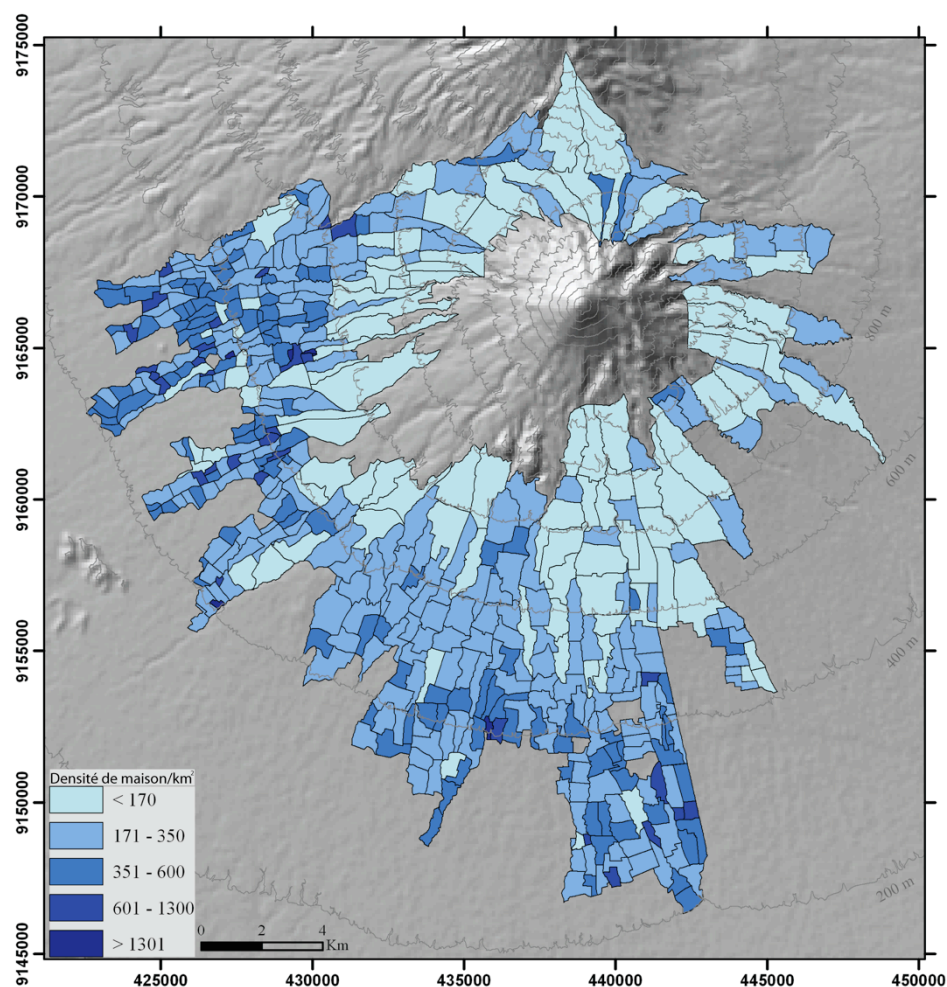


Figure 46. Densité de maisons au km².



Figure 47. Maison traditionnelle javanaise dont les murs en bois ont été remplacés par des parpaings.

Aujourd'hui, près des $\frac{3}{4}$ des maisons sur le volcan sont en briques et en parpaings (Fig. 47). Toutes les nouvelles maisons sont construites en dur et les anciennes maisons traditionnelles javanaises, appelées *joglo*, qui à l'origine étaient bâties avec des murs en bois et un toit en tuile, sont rénovées et des murs en briques remplacent souvent le bois, au moins pour la façade. (Fig. 48).

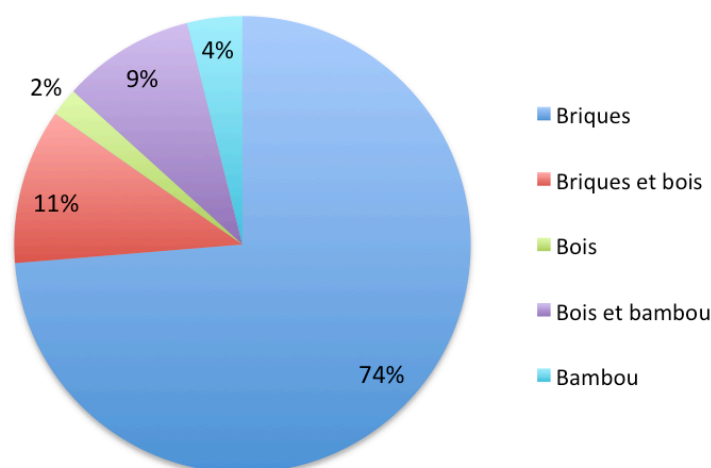


Figure 48. Types de maisons sur le Merapi.

Les pourcentages représentent le type de matériau dominant. La typologie de cette étude est approximative une même maison peut souvent avoir un mur en brique (façade) et les autres en bois par exemple. C'est pour cette raison que les matériaux dominants ont été retenus.

Outre les maisons d'habitation, les flancs du Merapi comportent de très nombreux bâtiments publics ou privés à vocation économique, sociale ou culturelle. Chaque *desa* possède un bâtiment faisant office de mairie et une ou plusieurs écoles primaires. Les bâtiments culturels sont essentiellement des édifices religieux, 94% sont des mosquées. Sur les 1 008 lieux de cultes recensés par le questionnaire PODUS, seul quatre sont protestants, quatre hindouistes et deux catholiques. Aucun lieu de culte bouddhiste n'est présent sur le volcan.

2. L'éruption la plus meurtrière depuis 80 ans

L'étude des impacts démographiques de l'éruption de 2010 à l'échelle du volcan permet de mettre en évidence les disparités géographiques des zones touchées par l'éruption

et de comprendre la raison pour laquelle les victimes et les blessés sont concentrés dans des régions très précises.

2.1. Un nombre de victimes modéré pour une éruption de forte intensité

L'éruption exceptionnelle du Merapi de 2010 est la plus importante en terme d'intensité (IEV) depuis les 140 dernières années et la seconde plus importante en terme de victimes après 1930. Avant 2010, la dernière éruption paroxysmale du Merapi de type peléenne et très violente (IEV 3) remontait à 1930. Dans les premiers jours, l'éruption se manifesta dans les vallées des rivières Senowo, Batang et Blongkeng (Neumann von Padang, 1933). L'effondrement du dôme produit des coulées pyroclastiques accompagnées de déferlantes parcourant jusqu'à 13,5 km les flancs ouest et sud ouest du Merapi (Newhall et al., 2000), et qui dévastèrent une surface supérieure à 60 km² sur ces mêmes flancs (Thouret et al., 2000). Ces écoulements furent accompagnés d'une activité effusive très importante : 6 millions de m³ de lave furent produits pendant les 23 jours qui ont précédé la phase paroxysmale et 36 millions de m³ supplémentaires ont été produits l'année suivante. Les écoulements furent accompagnés de déferlantes. Au total, 1 369 personnes furent tuées, ainsi que 2 100 animaux ; 13 villages furent totalement détruits et 23 partiellement (Voight et al., 2000).

Date de l'éruption	Indice d'explosivité volcanique (IEV)	Volume de matériaux éjectés (en million de m ³)	Victimes	Blessés	Personnes évacuées ou sans abris
1882	4		200		
1904	2		16	45	3 000
1920	2	5	35		1 000
1930	3	26	1 369		13 000
1954	2	20	64	57	3 000
1961	3	29,4	6	6	8 000
1994	2	3,5	64	500	6 026
1998	2		0	314	6 000
2006	2	13,3	2		22 253
2010	4	> 60	349	1 814	> 1 000 000

Tableau 8. Victimes des principales éruptions du Merapi depuis 1872
(Voight et al, 2000 ; Lavigne, 1998 ; Witham, 2005 ; cette étude)

Le bilan des victimes de l'éruption de 2010 est de 349 morts, 1 814 blessés. Plus d'un million de personnes furent évacuées ou ont été déplacées, un record, toutes éruptions confondues (Tab. 8).

Les personnes tuées par l'éruption du Merapi de 2010 ont majoritairement été frappées par les deux principales éruptions, des 26 octobre et 5 novembre 2010 (Fig. 49). Une partie des victimes de l'éruption est décédée à cause d'évènements périphériques à l'éruption (crises cardiaques, accidents de la route,...).

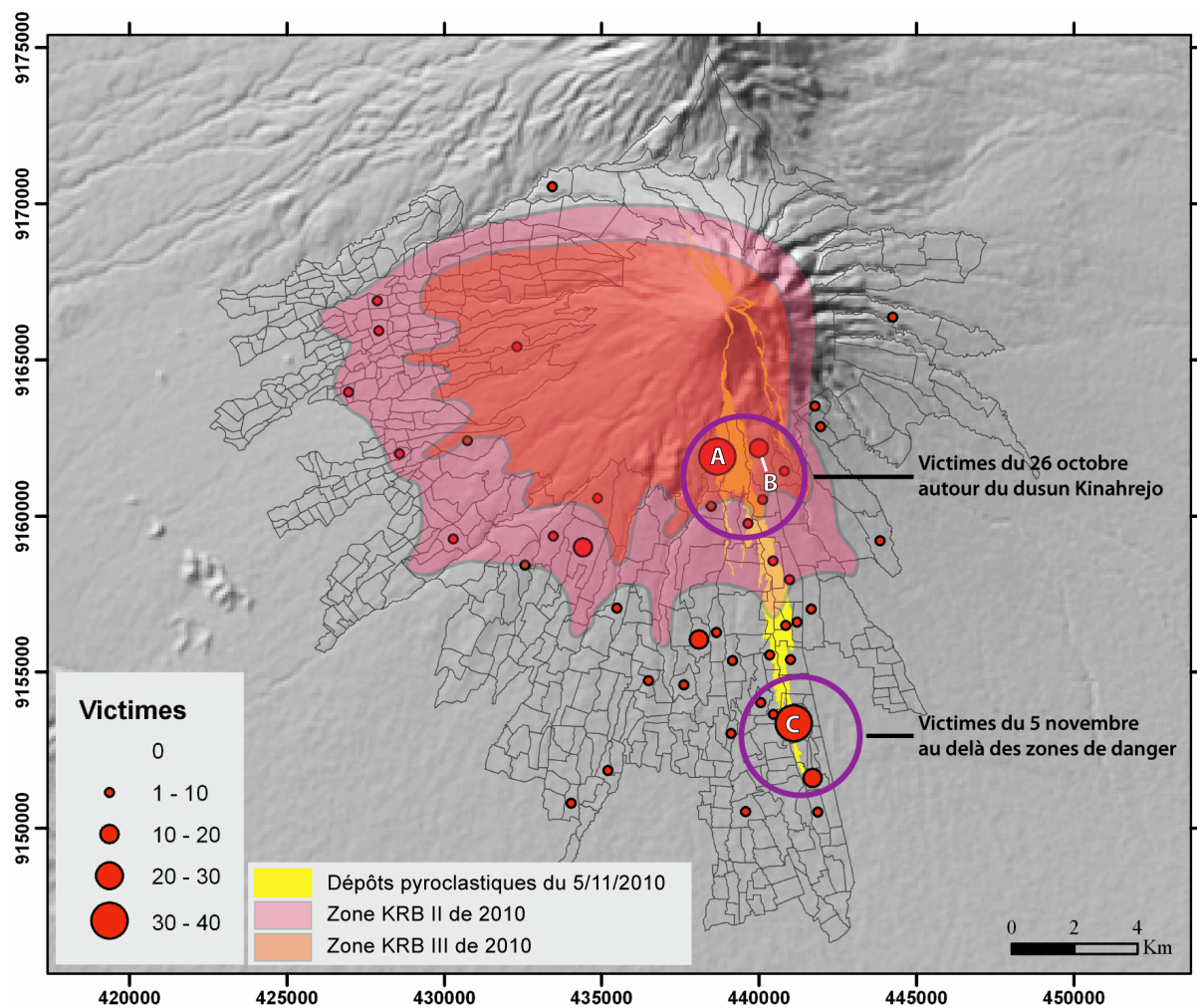


Figure 49. Carte de la répartition des victimes directes de l'éruption de 2010 au Merapi.

A- Kinahrejo ; B- Kalitengah Lor ; C- Bronggang.

Les limites des zones KRB II et III de cette carte correspondent à la carte des zones de danger du CVGHM mis en en place avant l'éruption et utilisée au moment de celle-ci. Les villages hors de cette zone étaient par conséquent considérés comme non exposés aux risques de coulées pyroclastiques.

2.1.1. Origine des pertes directes

Bien que l'ensemble des villageois des zones interdites et de danger (KRB II et III) ait été évacué, le *blast* du 26 octobre 2010 a fait 33 victimes.

Les personnes tuées directement par l'éruption de ce jour-là, étaient présentes au village de Kinahrejo, autour de Mbah Marijan le gardien du volcan. Une partie était des proches du gardien, les autres des journalistes venus couvrir l'événement. L'ensemble de ces personnes, 24 au total, sont mortes directement lors de l'arrivée du *blast*.

Un second groupe de personnes a également été frappé par le *blast*, d'autres journalistes et des volontaires de la Croix-Rouge, en train de remonter pour avertir les personnes présentes au village de Kinahrejo, ce second groupe était plus loin du sommet du volcan. Ils ne sont pas morts directement mais ont été gravement brûlés et portés à l'hôpital Sarjito de Yogyakarta. Ces neuf personnes sont décédées dans les jours suivants l'éruption.

L'effondrement du dôme du Merapi dans la nuit du 4 au 5 novembre 2010 a pris de cours les autorités locales et les populations vivant sur le volcan.

Cette nuit-là a été la plus meurtrière de l'éruption de 2010, avec au total, 69% des personnes tuées pendant l'éruption. Ces victimes ont été frappées par l'éruption, autour de la rivière Gendol, et sont réparties dans deux zones principales :

- En amont de la rivière Gendol, à l'Est, des *dusun* Kalitengah Lor et Kalitengah Kidul. Les habitants avaient évacué mais une quinzaine d'hommes restaient aux villages pour les surveiller. Ces habitants se croyaient protégés car ils pensaient connaître le phénomène de coulées pyroclastiques qu'ils avaient pu observer en 2006. Cependant lors l'effondrement du dôme le 5 novembre aux alentours de 0h05, un puissant *blast* dévale les flancs du Merapi de manière linéaire, sans suivre le cours de la Gendol, contrairement aux coulées pyroclastiques, souffle les villages de Kalitengah Lor et Kalitengah Kidul et brûle tous les villageois (Komorowski et al., 2012).

- En aval de la Gendol, sur les rives droite et gauche dans les villages situés au bord ou à l'extérieur du rayon de 15 km du sommet du volcan. L'augmentation du rayon d'évacuation autour du Merapi a pris de court les habitants qui ne pensaient pas se trouver dans une zone potentiellement menacée par les coulées pyroclastiques. Dans cette zone, la perception du risque était quasi nulle, les villageois ne connaissaient ce phénomène que par la télévision qui le décrit souvent mal. Lorsque l'ordre d'évacuation est donné le 4 novembre à 22h, ils mettent donc plus de temps à partir, n'étant pas préparés, ne sachant pas où aller ni

par quel moyen, car aucun plan d'évacuation n'avait été mis en place auparavant par les autorités locales dans cette zone. Quand les coulées pyroclastiques dévalent la vallée de la Gendol, une partie des villageois est encore en train d'évacuer, d'autres attendent que des membres de leur famille viennent les chercher. A 0h10, les coulées parcourent une distance exceptionnelle de 17 km et les déferlantes brûlent les villages jouxtant la rivière. Les plus touchés sont les *dusun* de Suruh – Bronggang, avec 33 morts directement, Gadingam avec 30 morts, 15 à Surodadi et 11 au *dusun* Jalapan – Plumbon. Cette nuit-là, environ 135 personnes sont tuées directement par les coulées pyroclastiques et leurs déferlantes et 25 personnes meurent de brûlures à l'hôpital Sarjito dans les jours suivants. L'ensemble des victimes est amené à l'hôpital Sarjito de Yogyakarta.

Le bilan des victimes directes à cause de l'éruption de 2010 est de 159 personnes tuées sur le coup et 34 personnes mortes à l'hôpital à cause de brûlures.

2.1.2. Origine des pertes indirectes

• Des décès d'origine variée

Les écoulements pyroclastiques de type *blasts* et déferlantes sont les causes principales des décès lors de l'éruption. Cependant, 156 victimes sont mortes d'effets indirects de l'éruption.

- De nombreuses personnes sont mortes de crises cardiaques lors des évacuations ou dans les camps de réfugiés. Les crises cardiaques sont une cause de mort commune en Indonésie, liée au mauvais régime alimentaire des villageois et au tabagisme, très important dans l'archipel. Cependant, d'après les médecins de l'hôpital Sarjito de Yogyakarta, l'ampleur du nombre de crises cardiaques est imputable aux effets indirects de l'éruption, provoqués par des états de stress lors des déplacements ou dans les camps de réfugiés générés par la peur, la promiscuité, le bruit et l'inconfort.

- Les accidents de la route lors des évacuations sont également une des causes indirectes de décès. Un nombre important de ces accidents a été enregistré dans le *kabupaten* de Magelang, où les pluies et les dépôts de cendres ont été les plus importants. Les pluies de cendres réduisent considérablement la visibilité des conducteurs de moto et les dépôts, mêlés à de la pluie ou à de l'eau se transforment en boue et rendent les routes glissantes et dangereuses lors des déplacements en véhicule motorisé.

- Certaines personnes sont mortes d'insuffisances respiratoires liées à l'encombrement des bronches par des cendres d'origine volcanique. Dans certaines régions reculées sur le volcan, beaucoup de villageois n'ont pas pu se procurer de masque pour se protéger des pluies de cendres. Ce n'est qu'au bout de quelques jours que le gouvernement et des ONG locales ont effectué des distributions gratuites. De plus, lors des évacuations dans la nuit du 4 au 5 novembre, certaines personnes ne se sont pas protégées le visage malgré les chutes de cendres importantes.

- Une partie des personnes décédées lors de l'éruption et comptabilisées par les chefs de villages comme mortes à cause de celle-ci posent un problème dans les calculs. En effet, les personnes mortes de cancer de la typhoïde, de diabète, d'accident vasculaire cérébral, en accouchement, etc. ne sont pas des victimes de l'éruption et on ne peut pas savoir si ces personnes seraient mortes si la crise n'avait pas eu lieu. Ces cas représentent une cinquantaine de « victimes ».

- Quelques heures après chaque explosion importantes, des volontaires des associations de SAR (*Search And Rescue*) ont été dépêchées pour assister la police et l'armée dans la recherche des rescapés ou l'évacuation des corps des personnes tuées par les écoulements gravitaires encore sur le lieu de la catastrophe. Ces volontaires sont souvent mal équipés, portent de simples bottes en plastique, souvent sans chaussettes et rarement de gants. Lors des interventions sur les dépôts pyroclastiques encore chauds, plusieurs incidents sont apparus. De nombreux SAR ont eu les pieds brûlés à travers leurs bottes, certains ont dû rentrer pieds nus, les bottes ayant complètement fondu. D'autres ont perdu l'équilibre lors de ces missions de secours et sont tombés dans les cendres encore chaudes et se sont brûlés les mains. Les volontaires ont été amenés à l'hôpital Sarjito et soignés pour de simples brûlures, non prioritaires par rapport aux brûlés directement par l'éruption. De ce fait, 11 membres des SAR sont décédés de septicémie dans les jours suivants leur admission à l'hôpital.

Il n'a pas été possible de connaître les raisons exactes de décès pour chaque victime pour deux raisons. D'une part, certaines personnes décédées lors d'un accident de la route ou dans un camp de réfugié ont été amenées dans les hôpitaux les plus proches du lieu de décès et il n'a pas été possible de se rendre dans tous ces hôpitaux. D'autre part, l'hôpital Sarjito, où les victimes arrivaient par dizaines dans journée du 5 novembre était débordé (Tab. 9). De plus, les médecins étaient pressés par les familles des victimes qui voulaient enterrer leurs

morts rapidement, comme le dicte la religion musulmane et n'ont pas pu réaliser correctement les autopsies.

Au total, 56 personnes sont mortes de raisons indirectes à l'éruption.

	Personnes mortes sur place	Personnes mortes à l'hôpital	Total
Boyolali	6	6	12
Klaten	4	10	14
Magelang	24	25	49
Sleman	180*	94	274
Total	214	135	349

Tableau 9. Tableau des victimes de l'éruption.

* Sleman est le *kabupaten* où se trouve l'hôpital Sarjito.

Toutes les victimes directes de l'éruption y ont été amenées.

• Des causes de blessures difficiles à hiérarchiser

La figure 50 montre que le plus grand nombre de blessés est localisé dans la région de Muntilan, sur le flanc ouest du Merapi, où les chutes de cendres ont été les plus importantes. Les pluies de cendres ont engendré un grand nombre de blessés lors de l'éruption, en occasionnant de nombreux accidents de la route qui ont été quelquefois mortels, mais le plus souvent ont eu pour conséquence de blesser des villageois en train d'évacuer. Ces chutes de cendres, en se déposant sur les toits des maisons, peuvent occasionner l'effondrement partiel ou total du bâtiment. Lors de l'éruption de 2010, peu de bâtiments ont subi ce type de dommage. Des bâtiments ont été dégradés ou des personnes ont été blessées à cause du poids des dépôts de cendres, mais pas directement, car l'épaisseur des dépôts était insuffisante, au maximum 10 cm au sol, moins sur les toits en raison de leur inclinaison (dans la majorité des cas). D'après Spence et al. (1996) l'épaisseur critique pour l'effondrement d'un toit est comprise entre 10 et 15 cm, selon Blong et Mc Kee (1995) elle est de 30 cm pour que 50 % de la toiture ne rompe. Il n'est donc pas surprenant que peu d'effondrement de bâtiments ait été recensés suite à l'éruption.

Cependant, plusieurs personnes ont été blessées et plusieurs maisons endommagées à cause de chute d'arbres. Avec les pluies, les cendres déposées sur les feuilles des arbres se gorgent d'eau et ce qui décuple le poids de celles-ci, provoque le déséquilibre des arbres et parfois leur chute. Ces événements sont la cause de nombreux accidents, notamment lors de la chute d'un arbre sur une maison ou d'une branche sur une route fréquentée.

D'autres personnes ont été blessées directement par les déferlantes des coulées pyroclastiques. Ces blessés se situent sur le flanc sud du volcan, dans le *kecamatan* de Cangkringan. Ces personnes étaient en train d'évacuer au moment de l'éruption du 5 novembre et se trouvaient encore près de la rivière Gendol.

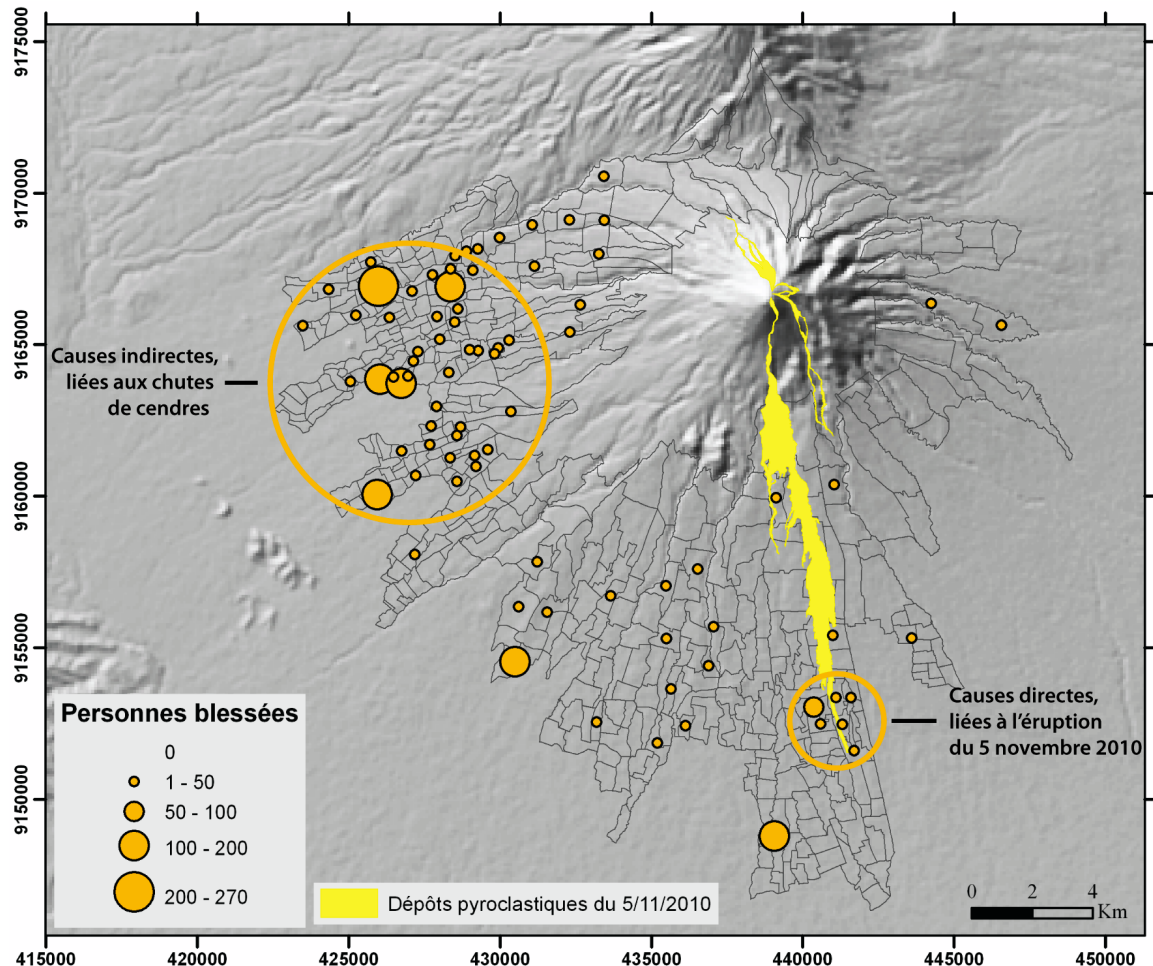


Figure 50. Carte des blessés par *dusun* suite à l'éruption, la coulée pyroclastique du 5 novembre 2010 a été représentée en jaune.

Le nombre total de blessés reportés par les chefs de *dusun* est de 1 814 personnes. Les vents dominants étant en majorité dirigés vers l'Ouest au moment de l'éruption, les chutes de cendres ont eu lieu sur les flancs Ouest du Merapi. Ainsi, il n'est pas surprenant de constater que 65% des blessés dus à l'éruption se situent dans le kabupaten de Magelang (1 175 blessés).

2.1.3. Problèmes de santé

L'éruption du Merapi a provoqué d'autres problèmes qui ont eu des répercussions sur le court terme et en auront sur le long terme.

- Problèmes respiratoires

À la suite de l'éruption, les chefs de *dusun* ont recensé 5 000 personnes souffrant de problèmes respiratoires (Fig. 51). La majorité de ces personnes se trouvent dans le *kabupaten* Sleman (62%), et 30% dans le kabupaten Magelang.

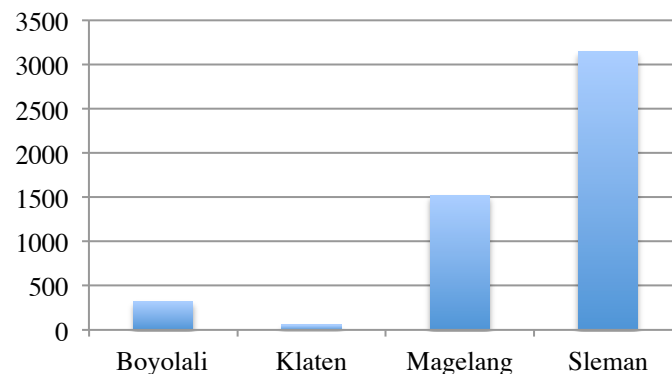


Figure 51. Répartition des victimes de problèmes respiratoires post-éruption.

Ces problèmes respiratoires sont dus aux inhalations de cendres lors de l'éruption. Dès le 30 octobre, des pluies de cendres s'abattent vers le Sud, et prennent par surprise les habitants de la ville de Yogyakarta non habitués à ce phénomène. Ce jour-là, les populations du volcan et de la ville ne sont pas encore équipées de masques mais continuent à se déplacer à moto normalement (Fig. 52). Les jours suivants, les chutes de cendres sont quotidiennes. Le maximum est atteint dans la nuit du 4 au 5 novembre, dans la région de Muntilan (Magelang) où les villageois racontent que les pluies de cendres les empêchent de voir à deux mètres malgré les plein phares allumés des voitures. La même nuit, le flanc Sud du volcan (Sleman) est frappé par une coulée pyroclastique de 17 km et les vents dominants se dirigeant vers l'Ouest et le Sud génèrent des chutes de cendres qui perturbent les villageois en train d'évacuer.

C'est lors de ces deux principaux événements que les personnes ont été le plus affectées par les cendres, ce qui a entraîné de nombreux problèmes respiratoires.



Figure 52. Yogyakarta sous les cendres du Merapi, le 30 octobre 2010.
Cliché : A. Picquout.

- Contaminations au Virus d'Immunodéficience Humaine (VIH)

Il est apparu dans des études internationales récentes (Organisation mondiale de la santé, 2005 ; ONUSIDA, 2007 ; Croix rouge internationale, 2008) que les catastrophes naturelles peuvent avoir pour conséquence une hausse importante du nombre de contaminations au VIH/SIDA. Ces nouvelles contaminations peuvent avoir lieu pendant la période d'évacuation, et touchent les villageois réfugiés, surtout pour ceux de camps situés en ville.



Figure 49. Promiscuité dans les camps de réfugiés du Merapi, stade Maguwoharjo, Yogyakarta.

Tout d'abord, les villageois se retrouvent dans des stades ou gymnases surpeuplés sans activité, et attendent pendant plusieurs semaines de pouvoir retourner dans leurs villages. La promiscuité génère des rencontres entre villageois de *kecamatan* différents (Fig. 49), qui peuvent mener parfois à des rapports sexuels, voire la fréquentation de partenaires multiples. Depuis l'éruption de 2006, le gouvernement fait installer, dans les camps officiels, des espaces plus intimes à l'aide de rideaux tendus, afin de permettre aux réfugiés de continuer à avoir des rapports sexuels. De plus, l'absence de prévention concernant les maladies sexuellement transmissibles et l'accès limité aux préservatifs multiplient les risques. Ensuite, la perte de moyens de subsistance peut pousser certaines personnes à se prostituer. Enfin, en vivant en ville où les taux de personnes contaminées sont plus importants, des villageois peuvent avoir des relations sexuelles avec des personnes contaminées et, en absence de dépistage, peuvent ultérieurement retransmettre la maladie à des villageois.

À l'hôpital Sarjito de Yogyakarta, les médecins de la clinique Edelweiss (consacrée aux malades du VIH/SIDA) ont constaté une hausse du nombre de séropositifs dans les mois suivant l'éruption du Merapi. La directrice de la clinique, le docteur Yanri n'a pas voulu partager ses statistiques mais nous a confirmé cette tendance. Cependant, les moyens de dépistages du VIH/SIDA sont très peu nombreux autour du Merapi et il est donc difficile d'étudier ces impacts plus précisément.

3. Les impacts de l'éruption à l'échelle locale

L'éruption de 2010 a été marquée par deux grandes phases meurtrières : celle du 26 octobre et celle du 5 novembre. Afin d'étudier les impacts démographiques et culturels de l'éruption de 2010 à une échelle fine, deux *dusun* ont été sélectionnés pour une étude de cas à l'échelle locale. Le premier, Kinahrejo était le *dusun* le plus chargé culturellement, village du gardien du volcan et lieu de départ des offrandes de la cérémonie du *labuhan*. Le village est devenu, après sa destruction, le lieu de pèlerinage de la catastrophe. Le second, Bronggang est un village qui, d'après les organismes de gestion des risques, ne courait aucun danger, mais qui finalement a été le *dusun* le plus meurtri par l'éruption de 2010 (Fig. 53).

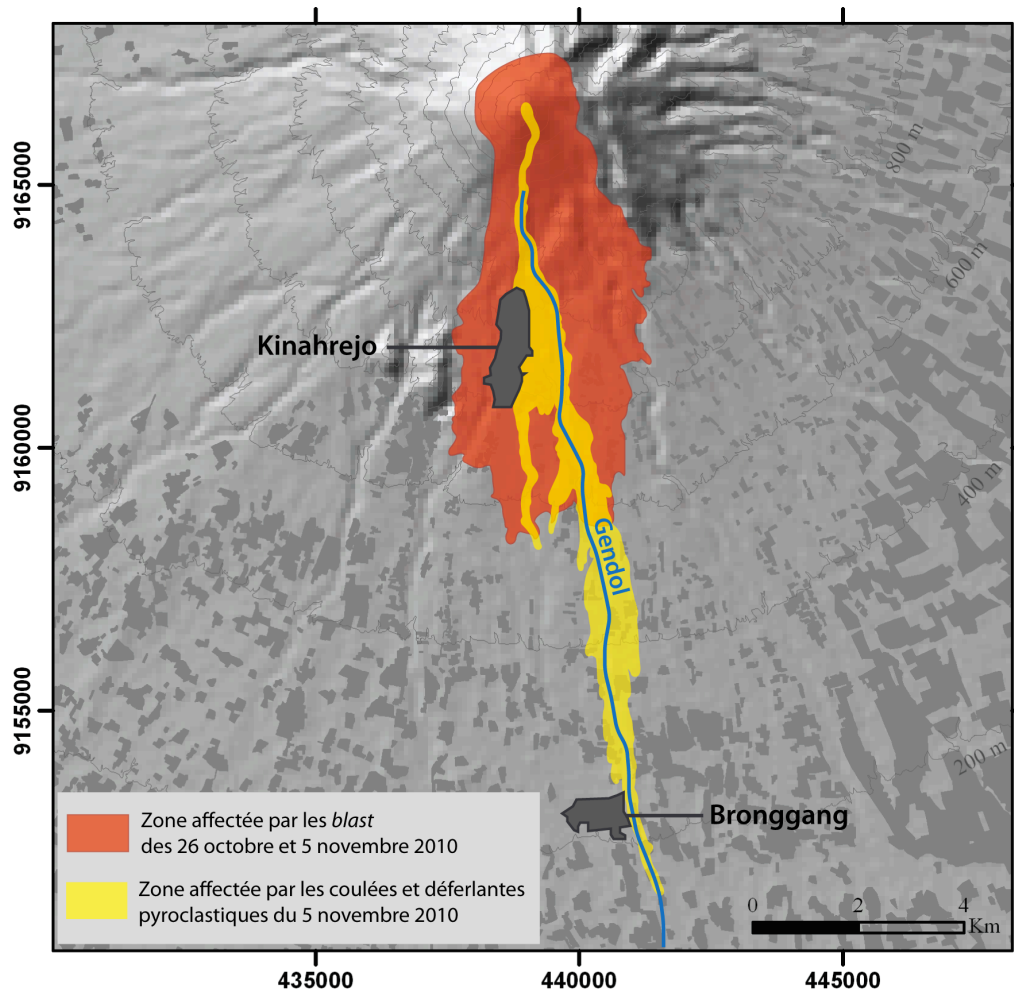


Figure 53. Carte de localisation des dusun Kinahrejo et Bronggang

3.1. Un village spirituel dans une zone à risques : Kinahrejo

Le village de Kinahrejo - Pelemsari est situé sur le flanc sud du Merapi, à une altitude moyenne de 1 080 mètres, entre les rivières Kuning et Gendol. Il se situe sur l'« Axe sacré » qui relie le *kraton* de Yogyakarta à la plage de Parangkusumo et au volcan Merapi. C'est à Kinahrejo que vivaient les gardiens du volcan depuis trois générations et c'est de la Pierre éléphant - située au Nord du village- que partaient les offrandes chaque année lors de la cérémonie du Labuhan conduite par le *juru kunci*, accompagné d'un cheval sacré qui transportait les offrandes, de son conducteur et de la chamane, tous parties intégrantes du rituel (Fig. 54 et 54). Le village est un des trois pôles spirituels de l'axe sacré.



Figure 54. Bo Pujo et Mbah Marijan officiants lors de la cérémonie du *Labuhan*.

Cliché : Nicolas Cornet.



Figure 55. Pak Pujo conduisant le cheval sacré lors de la procession du *Labuhan*.

Cliché : Nicolas Cornet.

En 2009, la population de Kinahrejo comptait 291 habitants. 55% étaient éleveurs et 18 % exploitaient le sable dans les rivières, le quart restant était composé d'employés, de commerçants et de fonctionnaires (Fig. 56).

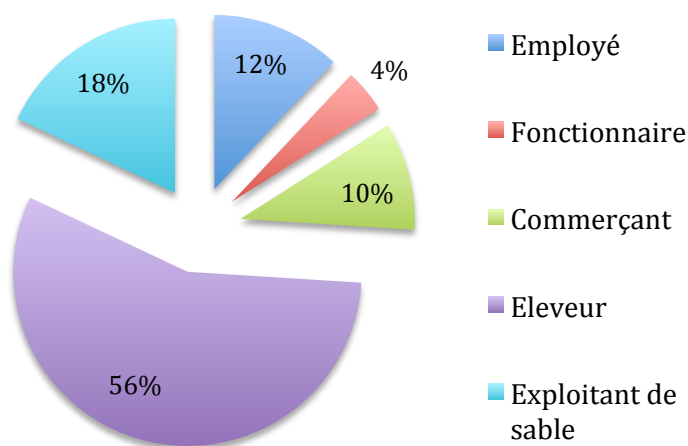


Figure 56. Répartition de la population de Kinahrejo par secteur d'activité

La proximité du *dusun* avec le parc national du volcan Merapi au Nord offrait une ressource en fourrage abondante et gratuite aux villageois, c'est la raison pour laquelle plus de la moitié des habitants du village étaient éleveur de vaches et de chèvres. En 2009 on dénombrait 300 vaches, soit plus d'une vache par habitant, et 20 chèvres. La majorité du lait de vache était acheté par Danone Indonésie pour faire du lait en poudre pour bébé. En faible proportion et mélangé avec du lait en poudre venant de Nouvelle-Zélande de meilleur qualité, il permet à la marque française de promouvoir son lait comme étant une production indonésienne locale. En Indonésie, ce lait de qualité supérieure est réservé aux populations les plus riches, vendu très cher dans les supermarchés où il est présenté sous vitrines fermées à clé. Afin de vendre son lait à prix élevé, Danone investit également beaucoup dans des spots publicitaires dignes de films Hollywoodiens.

Les exploitants de sable étaient également nombreux à Kinahrejo, le village étant proche de la rivière Gendol, ils représentaient 1/5^{ème} de la population active. Les extractions de sable étaient un moyen de subsistance essentiel pour les habitants de Kinahrejo. Ce travail quotidien ou ponctué sur la base du volontariat, permettait aux exploitants d'exercer cette activité temporairement en fonction de leurs besoins financiers en plus de leur activité d'éleveur.

Le village de Kinahrejo se trouve dans la zone actuellement la plus exposée aux écoulements pyroclastiques du Merapi. C'est le village qui a été le plus touché par les *blasts* et les écoulements pyroclastiques durant l'éruption de 2010.

Le 25 octobre 2010, l'ordre d'évacuation est émis par le BPPTK et les habitants de Kinahrejo font partie des premiers évacués tout comme les ceux des villages situés dans un rayon de 10 km du sommet du volcan. La majorité des habitants évacuent à moto et se dirigent vers le bureau du chef de *desa* d'Umbulharjo, lieu habituel de rassemblement pour les villageois des *dusun* situés en amont lors des évacuations. Mais le gardien du volcan, Mbah Marijan, refuse comme à son habitude de partir. Comme en 2006, en effet, il dit que le volcan est sa maison ; que bonne ou mauvaise, il doit en assurer la garde et que chacun est responsable de sa propre sécurité : « Si on sent qu'il est temps d'évacuer, il faut évacuer et surtout ne pas suivre l'exemple de l'idiot que je suis qui n'est jamais allé à l'école » (Inandiak, 2010).

Le mardi 26 octobre 2010, en début de journée, Mbah Marijan demande à sa femme et à toute sa famille d'évacuer avec les autres membres du village. Ce qu'ils font. Mais plusieurs hommes du village veulent rester à ses côtés. Un volontaire de la Croix Rouge tente désespérément de le convaincre d'évacuer et reste avec lui. La chamane et son mari sont là également près du *juru kunci*. Eux aussi ont toujours dit qu'ils ne quitteraient jamais le volcan, quoi qu'il arrive, car leur vie et celle du volcan sont indissociables. Par ailleurs, Mbah Marijan déclare qu'en tant que gardien du volcan, il se sentirait gravement en faute s'il partait et qu'une seule personne égarée sur le volcan mourait dans l'éruption. Ce jour-là, quelques journalistes téméraires sont également présents au côté du gardien et d'autres plus bas dans le village. Lorsque le *blast* dévale les flancs du volcan, ces derniers tentent de convaincre Mbah Marijan de quitter la zone mais en vain. Dans l'après-midi, le village est frappé par un premier *blast*, d'une intensité moyenne, qui brûle le village et tue directement 24 personnes à Kinahrejo, dont Mbah Marijan, la chamane Bo Pujo et son mari, Pak Pujo, conducteur du cheval sacré. Le *blast* détruit totalement les bâtiments en bois et partiellement les maisons en briques ou en parpaings. Les arbres du parc national du Merapi sont également brûlés au niveau des branches mais les troncs, soufflés, sont couchés dans le sens du *blast*. Neuf autres personnes décéderont à l'hôpital Sarjito dans les semaines suivantes. Les pertes matérielles sont également élevées. Trois voitures ainsi que neuf motos sont brûlées ; Les 86 maisons du village sont lourdement endommagées et les 186 vaches du village sont tuées sur le coup ou dans les heures suivant le *blast*.

Ce *blast* est sera qualifié plus tard de « petit » par les vulcanologues car il n'a pas parcouru une distance exceptionnelle ; les victimes auraient donc pu être évitées si Marijan avait évacué en même temps que le reste du village. Cependant, la mort du gardien aux

premiers jours de l'éruption a permis de sauver des vies car elle a changé la perception du risque des populations vivant sur le volcan et jusqu'à Yogyakarta.

Le 30 octobre 2010, les villageois, se sentant en insécurité décident d'évacuer plus loin du sommet et s'installent à la *pesantren* (école coranique) Al Qadir située à Tanjung dans le *desa* de Wukirsari, à 13 km du volcan. Ils y resteront jusqu'à la nuit du 4 au 5 novembre, au moment où le rayon d'évacuation passe de 15 à 20 km. Les villageois, toujours groupés, se dirigent à Paten, dans le *desa* Tridadi, près du complexe administratif de Sleman où un riche particulier, Mas Agus Cholik, propose de loger les 200 réfugiés de Kinahrejo dans sa grande maison. Cette nuit-là, le village est à nouveau frappé par un puissant *blast* qui rase totalement les maisons partiellement détruites lors de l'éruption du 26 octobre.

Lors de l'effondrement du dôme du Merapi, dans la nuit du 4 au 5 novembre, le village est en première ligne et est à nouveau frappé par un *blast*, plus puissant, qui rase toutes les structures encore en place après la première éruption. Quelques minutes suivant le *blast*, des coulées pyroclastiques dévalent les pentes du volcan dans le chenal de la Gendol et les déferlantes générées par celles-ci frappent le village déjà détruit.

3.2. Un village a priori sans risque : Bronggang

Le *dusun* Bronggang - Suruh fait partie du *desa* d'Argomulyo, dans le *kabupaten* de Sleman. Il est situé à 14 km du sommet du Merapi, sur son flanc sud, bordé à l'Est par la rivière Gendol (Fig. 53). Son altitude moyenne est de 430 mètres.

En 2010, la population était composée de 601 habitants, répartis dans 158 familles. En 2009, plus de la moitié des habitants étaient des agriculteurs, 18% étaient fonctionnaires et 11% exploitants de sable et de pierre dans la rivière Gendol. Les 20% restant étaient composés d'employés, de commerçants, d'éleveurs et d'artisans (Fig. 57). Le développement du village était limité depuis 1968 ; seules deux nouvelles maisons y ont été construites.

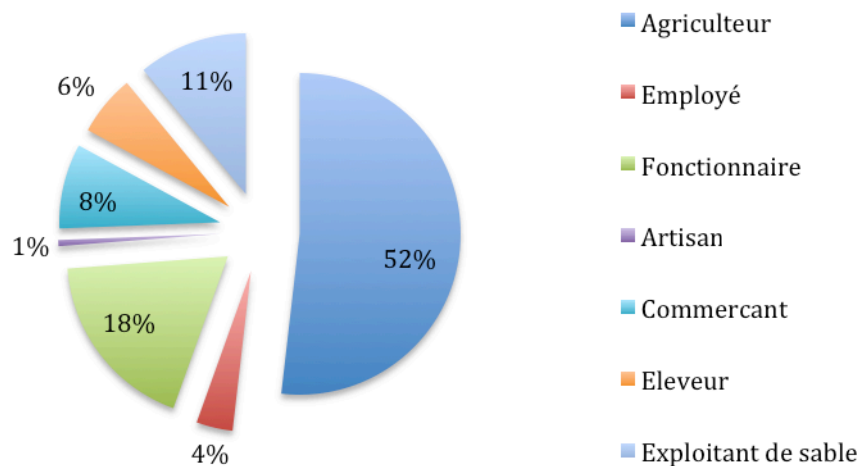


Figure 57. Répartition de la population de Bronggang par secteur d'activité

Le village de Bronggang étant bordé à l'Est par la rivière Gendol, les exploitants de sable y sont nombreux depuis l'éruption du volcan en 2006 qui avait engendré des écoulements pyroclastiques dans cette vallée jusqu'à 7 km, ce qui ne s'était pas produit depuis plusieurs décennies. Les coulées pyroclastiques qui dévalent les flancs du volcan tous les trois à cinq ans en moyenne déposent des quantités importantes de sable et de pierres dans les vallées à chaque éruption. En 2006, on a estimé qu'une dizaine de millions de m³ a été déposée dans la rivière Gendol (De Belizal et al, 2012).

Peu de temps après une éruption, les exploitations de sable déposé par les coulées pyroclastiques commencent. Le stock de sable est régulièrement réalimenté par les lahars à chaque saison des pluies. Le stock de matériaux déposés lors de l'éruption du Merapi en 2006 a été épuisé en quatre ans, par l'action conjuguée des lahars et des extractions.

Ces dépôts constituent un stock de matériaux de construction essentiel pour les populations vivant sur le volcan mais aussi dans les régions alentour (Lavigne et De Belizal., 2010). Le sable exploité dans les rivières les années suivant une éruption est de première qualité pour le secteur du bâtiment. Une fois les camions remplis de sable, les exploitants revendent leur chargement majoritairement dans les villes voisines du volcan mais également au-delà jusqu'aux villes de Semarang et de Surabaya.

Avant l'éruption de 2010, les habitants du village de Bronggang ne pensaient pas pouvoir être directement touchés par une coulée pyroclastique. Ils confondaient les termes de coulée pyroclastique et celui de lahar. Les plus vieux habitants du village connaissaient le risque de lahar car ils se souvenaient que de gros lahars avaient eu lieu en 1969 et ils en avaient vu passer dans la rivière. Cependant, à cette époque, les villageois n'avaient pas peur que les lahars sortent du lit de la Gendol pour venir frapper leur village. Concernant le phénomène d'*awan panas* (coulées pyroclastiques), ils en avaient entendu parler à la télévision et dans la presse, mais n'avaient pas peur de celles-ci car elles ne frappaient que les villages en amont du volcan, loin de chez eux. Avant l'éruption, plusieurs campagnes de sensibilisation sur les lahars ont été réalisées notamment par le BPPTK pour les chefs de *dusun* ce qui a permis à quelques habitants du village de connaître un peu mieux le phénomène.

A Bronggang, on recensait en 2009 de nombreuses personnes vulnérables, qui, en cas d'évacuation, nécessitaient une aide particulière, ne pouvant se déplacer par leurs propres moyens : trois personnes handicapées, 42 enfants de 0 à 10 ans et 150 personnes de plus de 55 ans.

Les villageois de Bronggang étaient sous équipées en moyens de transport puisqu'on ne recense qu'un véhicule motorisé pour neuf personnes en moyenne. Au village, avant l'éruption, on comptait deux camions, 10 voitures, 55 motos, trois vélos et deux minibus pour 600 personnes.

En 2010, aucun système d'alerte pour les coulées pyroclastiques n'était installé à Bronggang. Avant l'éruption de 2006, un système d'alerte pour les lahars avait été implanté mais celui-ci était déjà en panne avant l'éruption de 2010. Il n'a pas été réparé depuis. Aucun plan d'évacuation n'avait été mis en place par les autorités locales. Les habitants n'avaient qu'une seule consigne de la part du chef du village en cas de problème majeur : « se diriger vers le sud, loin du volcan ».

Le développement de la téléphonie mobile ces cinq dernières années à Java permet désormais de téléphoner quasiment partout sur le volcan. De plus l'arrivée sur le marché local de téléphones chinois à très bas prix fait que la plupart des familles vivant sur le volcan sont équipées de téléphones portables et pour une bonne partie d'entre elles ont un accès à Internet pour se connecter aux réseaux sociaux Twitter et Facebook. En 2009, on recensait à

Bronggang : 146 téléphones portables, correspondant à plus de 92% des familles équipées ; 150 télévisions et 140 radios pour les 600 habitants que comptait le village.

Une organisation de jeunes du village au financement autonome est présente à Bronggang. Elle est composée de 38 jeunes âgés de 14 à 30 ans, certains étudiants, certains actifs. Elle a pour rôle de veiller à la sécurité du village, de protéger des vols et d'agir en cas de crise. Cette organisation est très active et entretient une bonne collaboration avec le chef du *dusun*. L'association possède un bon réseau de communication entre ses différents membres, le chef du village et les habitants du *dusun*. Afin de surveiller le village et d'agir en cas de crise, les jeunes l'ont découpé en trois zones, avec pour chacune un point de surveillance. Chaque nuit, des rondes de surveillance ont lieu afin de protéger les villageois. Ce système est également utilisé pour surveiller les lahar.

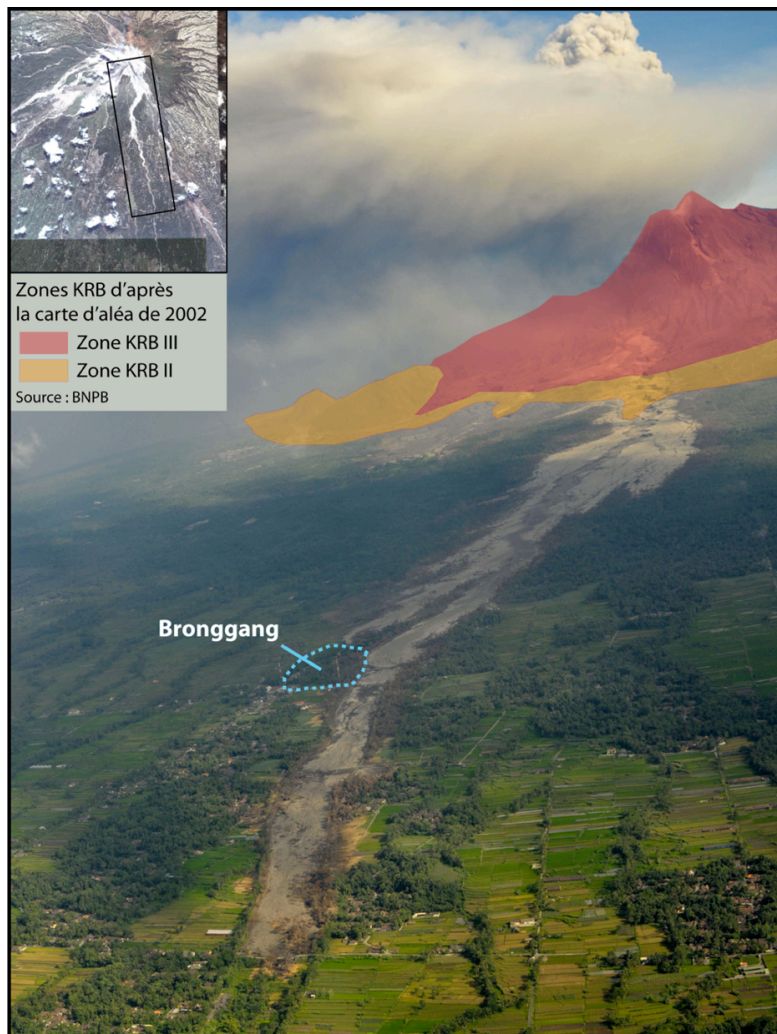


Figure 58. Localisation de Bronggang (Photo aérienne oblique, cliché du 15 novembre 2010, BNPB)

D'après la carte d'aléa publiée par le BPPTK à la suite de l'éruption de 2006, seule une petite partie à l'Est du village se trouvait en zone KRB I, zone exposée aux risques de lahars. Le bord de la zone KRB II était placé à 4 km au nord du village (Fig. 58). Le BPPTK ayant construit sa carte d'aléa se fondant sur les dernières éruptions du Merapi, il n'était pas pensable qu'un écoulement pyroclastique puisse toucher ce secteur puisque aucune coulée pyroclastique n'a eu lieu dans cette zone ces 100 dernières années.

Le 26 octobre, jour où le BBPTK passe du niveau d'alerte III au niveau d'alerte IV, les premiers habitants des zones KRB II et KRB III sont évacués. À Sleman, sept *desa* sont concernés ; 13 581 personnes se réfugient dans les camps installés par le gouvernement en périphérie de la zone d'évacuation de 10 km. La semaine suivante, le 3 novembre, l'activité du volcan continuant d'augmenter, le BPPTK décide d'élargir le rayon de la zone d'évacuation à 15 km. Les habitants des *desa* Kepuharjo et Ubulharjo sont déplacés vers le Sud dans les camps de réfugiés de Wukirsari, village voisin d'Argomulyo. Les camps étant pleins, 200 réfugiés s'installent dans les locaux du bureau du chef de *desa* d'Argomulyo, adjacent au *dusun* Bronggang (Fig. 61, p.156).

Les habitants de Bronggang se mobilisent alors pour apporter de l'aide aux déplacés. Le chef du *dusun*, avec l'aide de l'association des jeunes du village, organise une collecte de nourriture pour les réfugiés d'Argomulyo. Chaque famille prépare cinq panier-repas qui seront distribués au camp de réfugiés du village pour les trois repas de la journée.

Entre le début de l'éruption, le 26 octobre, et le 3 novembre 2010, le BPPTK comptabilise 165 coulées pyroclastiques. Les 3 et 4 octobre, les habitants de Bronggang sentent un grondement quasi-constant venant du Merapi, qu'ils ressentent comme un tremblement de terre continu. Plusieurs personnes ont relaté avoir alors constaté une hausse de température significative et exceptionnelle durant la saison des pluies.

À 23h, le 4 octobre, M. Surono publie un avertissement qui recommande aux *bupati* (préfets) d'évacuer 32 villages situés dans un rayon de 20 km du sommet du volcan. Par erreur, le *desa* d'Argomulyo ne figure pas sur la liste des villages à évacuer. Mais, par précaution, le *bupati* de Sleman donne quand même l'ordre d'évacuer au chef du *kecamatan* par téléphone. Celui-ci transmet l'information au chef du *desa*, qui la transmet à son tour au chef du *dusun*, le tout par téléphone portable.

Monsieur Sukaji, chef du *dusun* de Bronggang, contacte alors l'association des jeunes du village et leur demande de l'aider à évacuer le village avec l'assistance de la police et de l'armée, dont les représentants étaient présents dans le camp de déplacés d'Argomulyo. L'ordre est donné de quitter le village au plus vite et de s'éloigner le plus loin possible du volcan. Les habitants « paniquent » (source : groupe de discussion), n'emportent rien et fuient pour la plupart à moto, avec jusqu'à quatre personnes par véhicule et quelques personnes partent en voiture. Plus difficiles à évacuer, certaines personnes âgées et handicapées sont abandonnées laissés dans leurs maisons (source : groupe de discussion).

À 0h05, une coulée pyroclastique dévale sur 17 km la vallée de la rivière Gendol. Les déferlantes latérales frappent et brûlent la partie est du village de Bronggang et tuent 48 personnes sur le coup ; huit personnes sont brûlées au 3^{ème} degré, trois personnes sont brûlées au 2nd degré. Douze maisons sont détruites, 20 autres sont très endommagées. De nombreux équipements publics sont détériorés et le réseau d'alimentation en eau est coupé. Le village est également affecté économiquement, car deux bassins à poissons sont pollués et 14 bovins sont tués (Fig. 59).

Les personnes victimes de brûlures sont transportées à l'hôpital Sarjito de Yogyakarta par les personnes n'ayant pas encore évacuées ou en train d'évacuer.



Figure 59. Vaches tuées par les déferlantes des coulées pyroclastiques du 5 novembre, Bronggang (cliché : AFP / Altarima)

Dans le même temps, les survivants se retrouvent perdus lors de l'évacuation car l'école où ils étaient censés se rassembler avec le chef du village se situe dans la nouvelle zone évacuée. Dans la panique, les nouveaux réfugiés se dispersent et errent sans savoir où aller.

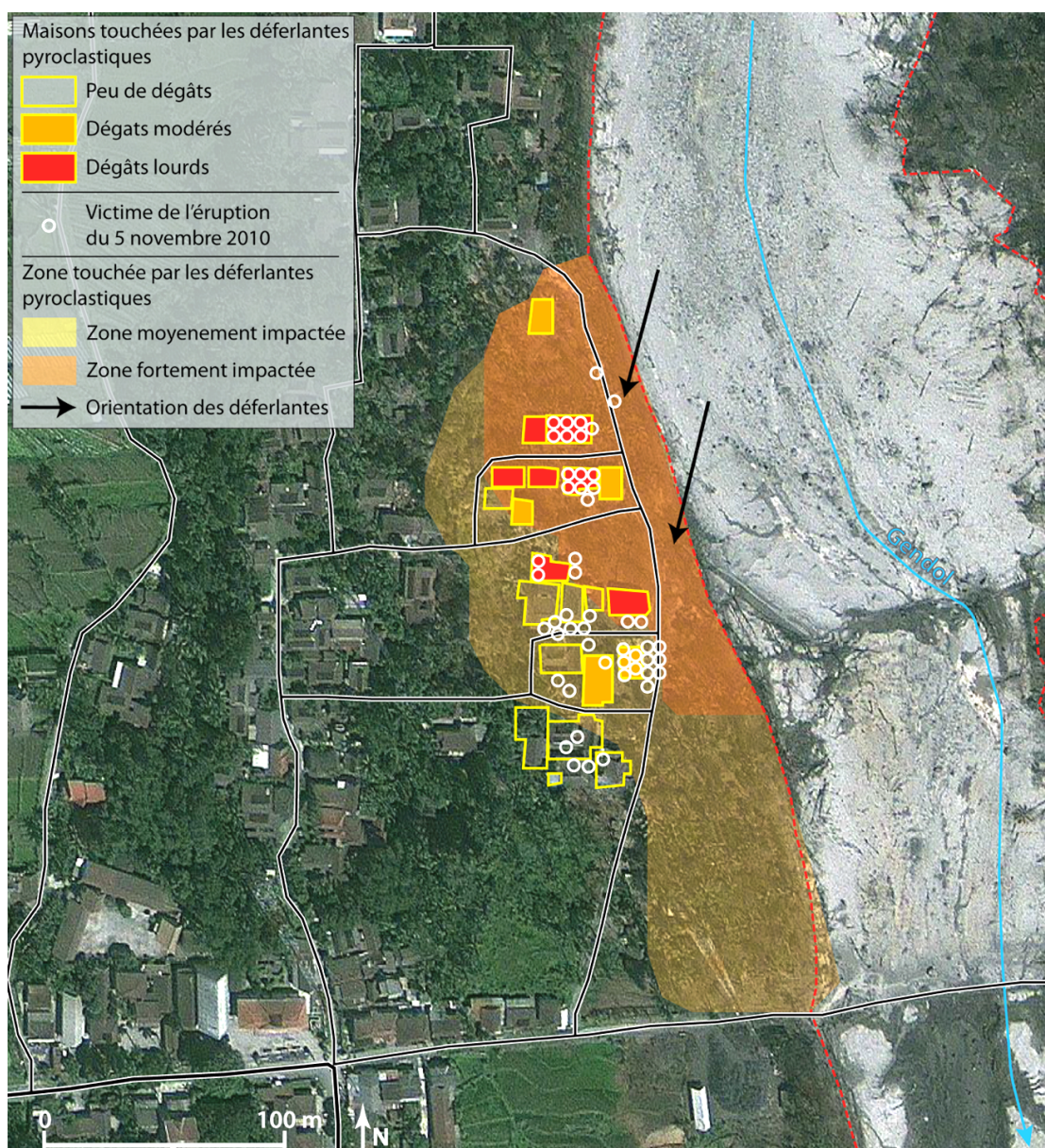


Figure 60. Carte des impacts de l'éruption du 5 novembre 2010 à Bronggang

À 2h du matin, les villageois arrivent finalement à se contacter par téléphone portable et décident de se retrouver au terrain de football de l'école élémentaire de Kalasan situé sur la route principale (Fig. 60).

À 5h, le chef du village accompagné de l'armée, de la police et des volontaires retourne au village pour aller chercher les personnes abandonnées et les victimes. Les corps

sont transportés à l'hôpital Sarjito de Yogyakarta qui est le lieu de rassemblement des victimes de l'éruption.

Les villageois de Bronggang restent deux jours à Kalasan avant de repartir en urgence vers le Sud après qu'un sorcier populaire ait fait une déclaration sur la chaîne de télévision nationale RCTI annonçant que le volcan va exploser à nouveau et que des coulées pyroclastiques vont tout détruire sur une distance de 60 km sur le flanc sud du volcan. Il prédit que celles-ci vont raser la ville de Yogyakarta et son *Kraton* (palais du Sultan). Les déplacés repartent ensemble sous la direction du chef du village à 30 km plus au Sud de Kalasan, au camp de réfugiés de Gunung Kidul (Fig. 61).

Le 9 novembre, l'association des jeunes du village organise un centre de gestion des aides (*posko*). Selon un roulement basé sur le volontariat, cinq à dix jeunes restent en permanence au village pour le surveiller, centraliser les dons et guider militaires, officiels et scientifiques à travers le village sinistré. La plupart des victimes blessées au 3^{ème} et 2nd degré décèderont à l'hôpital Sarjito avant le retour des habitants à Bronggang.

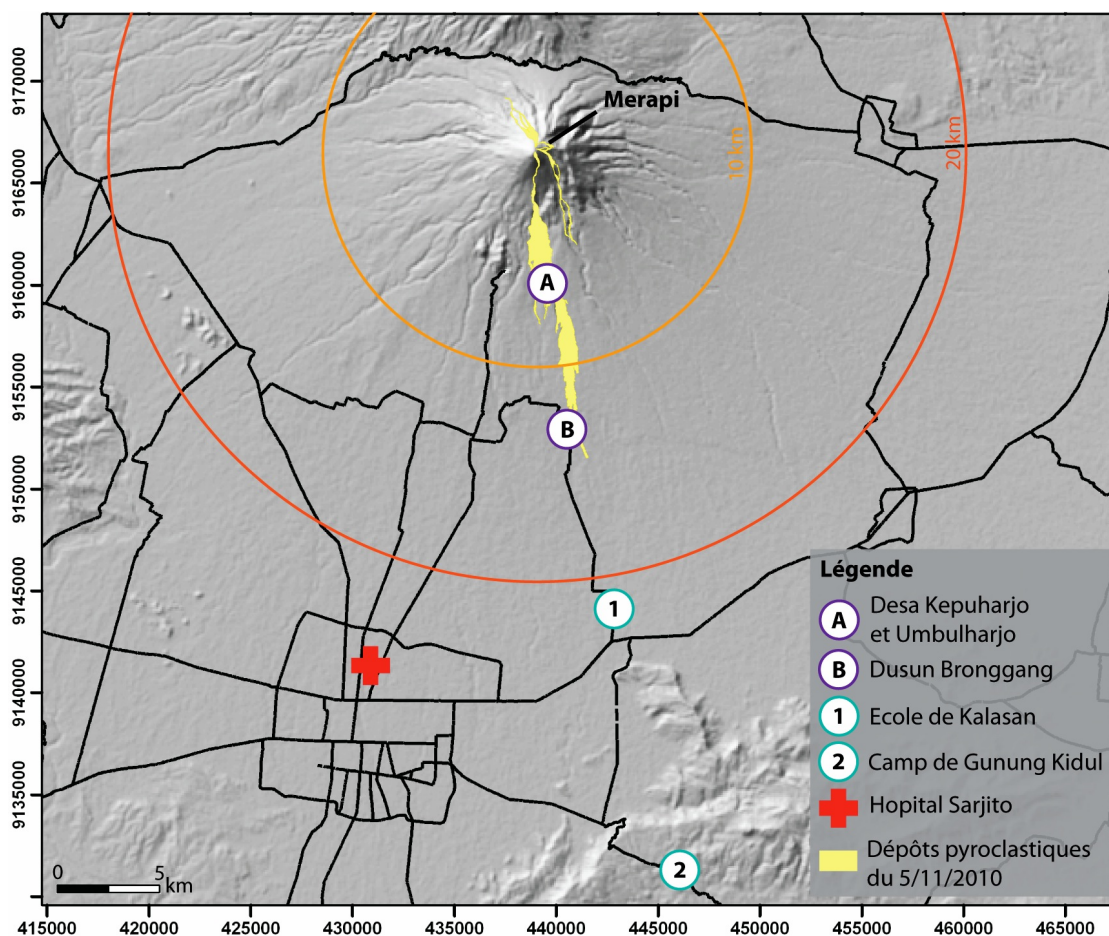


Figure 61. Carte de localisation des *dusun* Kerpuharjo et Umbulharjo ainsi que les sites d'évacuation des villageois de Bronggang.

4. Discussion

Comme il a été montré précédemment dans cette étude, les densités de populations sont très importantes sur les flancs du Merapi et plus précisément dans les zones à risque. Dans un rayon de 20 km autour du sommet du volcan, on recense 1 400 000 habitants (Mei et al., 2011). L'éruption 2010 a été la plus importante depuis 1870 de par son intensité et en terme de population évacuée, donc on pouvait s'attendre à un nombre de victimes très élevé, ce qui n'a pas été le cas.

4.1. Pourquoi si peu de victimes face à une éruption de cette intensité ?

Estuning T. W. Mei (2013) a consacré une thèse de doctorat portant sur les évacuations et la gestion de la crise du Merapi en 2010, cette partie de l'étude a par conséquent été réalisé avec sa collaboration.

4.1.1. Des ordres d'évacuation donnés de justesse

Le 20 septembre 2010, les autorités locales augmentent le niveau d'alerte volcanique du niveau I au niveau II, suivant les recommandations du BPPTK. Un mois plus tard, le gouvernement élève l'alerte au niveau III. Le 25 octobre, l'alerte atteint son plus haut niveau (IV) et le gouvernement commence l'évacuation des villageois vivant dans un rayon de 10 km vers les camps de déplacés installés en marge d'un rayon de 15 km. Le lendemain, la première éruption se produit et tue le « gardien du volcan » ainsi que les personnes de son entourage. Le 30 octobre, le volcan explose à nouveau, ce qui génère des chutes de cendres à Yogyakarta et jusqu'à 30 kilomètres du sommet du Merapi. Des coulées pyroclastiques s'écoulent sur le flanc sud, dans les vallées des rivières Gendol, Kuning, Krasak et Boyong.

Le 3 novembre, les autorités décident de porter le rayon d'évacuation à 15 km. Le lendemain, le volcan produit des explosions et des écoulements pyroclastiques durant 24 heures sans discontinuer. Mais les scientifiques exercent à l'aveugle car l'éruption débute en pleine nuit et dès le matin, le sommet du volcan est couvert par les nuages. De plus, trois des cinq sismogrammes destinés à la surveillance du volcan sont détruits par les coulées pyroclastiques. À 17h, M. Surono décide de recommander l'augmentation du rayon de la zone de sécurité à 20 km mais les autorités locales refusent de suivre les recommandations en raison des problèmes de logistique et des impacts économiques qu'engendreraient cette

décision. Sous la pression du directeur du CVGHM, les autorités locales commencent l'évacuation jusqu'à un rayon de 20 km à 23h30, seulement 30 minutes avant qu'un *blast* destructeur ne dévale les flancs du volcan, suivi de plusieurs coulées pyroclastiques. Jusqu'alors, l'ordre d'évacuation dans un rayon de 20 km n'avait jamais été donné et tous les centres d'évacuation mis en place par les quatre gouvernements locaux étaient situés en périphérie d'un rayon de 15 km (Mei et al., 2011). Il n'y avait pas d'abris d'évacuation préparés pour accueillir les réfugiés au-delà de ce nouveau rayon. Dans la nuit de cette éruption paroxysmale, de nombreux villageois ont évacué vers d'autres régions de Java et même vers d'autres îles indonésiennes. Les autres se sont réfugiés vers des camps de déplacés officiels (stades, gymnases, écoles, universités), vers des camps basés sur l'aide communautaire (halls d'entreprises, écoles et universités privées) et vers des camps privés, maisons de proches, amis ou particuliers.

Il a été constaté que malgré l'interdiction du gouvernement de se rendre dans les zones évacuées, l'armée et la police autorisaient de nombreux habitants, principalement des hommes, à se rendre dans leurs villages, pour quelques heures dans la journée. Avant l'éruption principale, 68 % des villageois avaient choisi de retourner chez eux (Fig. XX). Cependant, après l'éruption du 5 novembre, cette proportion a diminué, passant à 52 % (Mei et al., soumis). L'éruption et sa médiatisation a fait prendre conscience du danger à retourner aux villages. Les éruptions passées n'avaient pas touché les mêmes villages et aucun villageois n'avait été témoin d'une catastrophe aussi meurtrière. C'est pourquoi la part de personnes retournant chez-eux quotidiennement et pour quelques heures diminue après le 5 novembre.

4.1.2. Un changement de perception des risque qui facilita les évacuations

Les raisons pour lesquelles les villageois retournaient chez-eux ont également changé après l'éruption paroxysmale de novembre 2010 (Fig. 62). Avant le 5 Novembre les villageois retournaient dans leurs villages pour se laver (32 %), pour nourrir le bétail (26 %) et 20 % pour surveiller l'état de leur maison, notamment dans les secteurs où les chutes de cendres étaient les plus importantes. Après le 5 novembre, près de 60 % des personnes rentrées chez eux dans la journée l'ont fait afin de vérifier l'état de leur maison, dans les régions touchées directement par les coulées pyroclastiques et leurs déferlantes mais également dans les régions les plus touchées par les dépôts de cendres qui provoquèrent des chutes d'arbres sur des maisons (Fig. 63). Par ailleurs, 24 % des personnes rentraient pour nourrir leur bétail, malgré l'interdiction et le danger confirmé. Ce chiffre qui a peu évolué

montre l'importance de généraliser les évacuations du bétail et éviter la mise en danger de la vie de nombreux éleveurs.

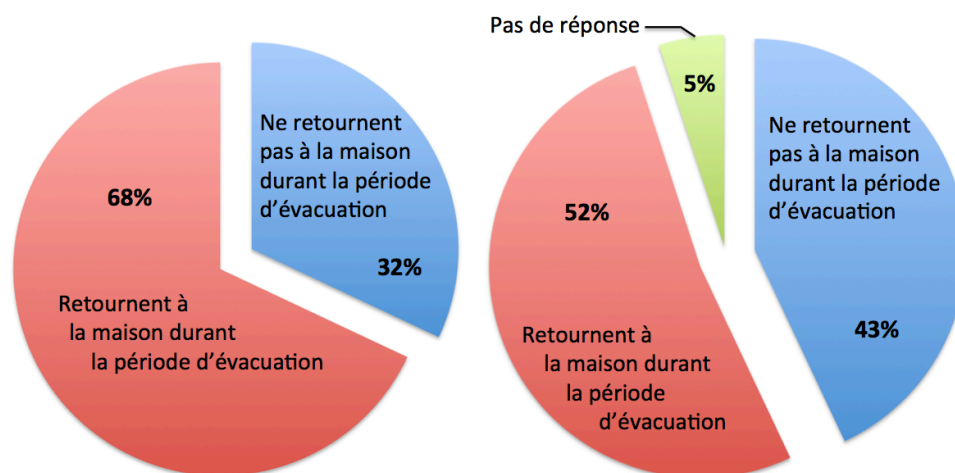


Figure 62. Taux de personnes évacuées retournant à leur domicile en période d'évacuation avant et après l'éruption du 5 novembre 2010. Source : Mei et al., 2012.

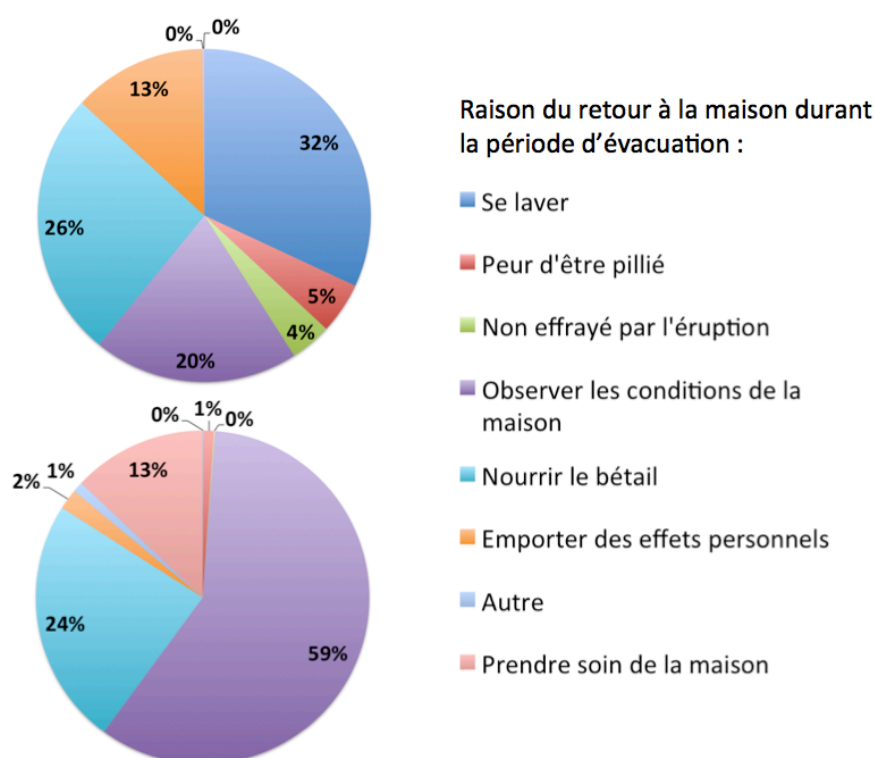


Figure 63. Raison du retour à leur domicile des personnes évacuées avant et après l'éruption du 5 novembre 2010. Source : Mei et al., 2012.

Entre le 5 novembre et le 19 novembre, période où la zone d'évacuation était la plus importante, le nombre total de personnes évacuées dans les camps de réfugiés gouvernementaux atteignit 399 403 personne (Fig. 64).

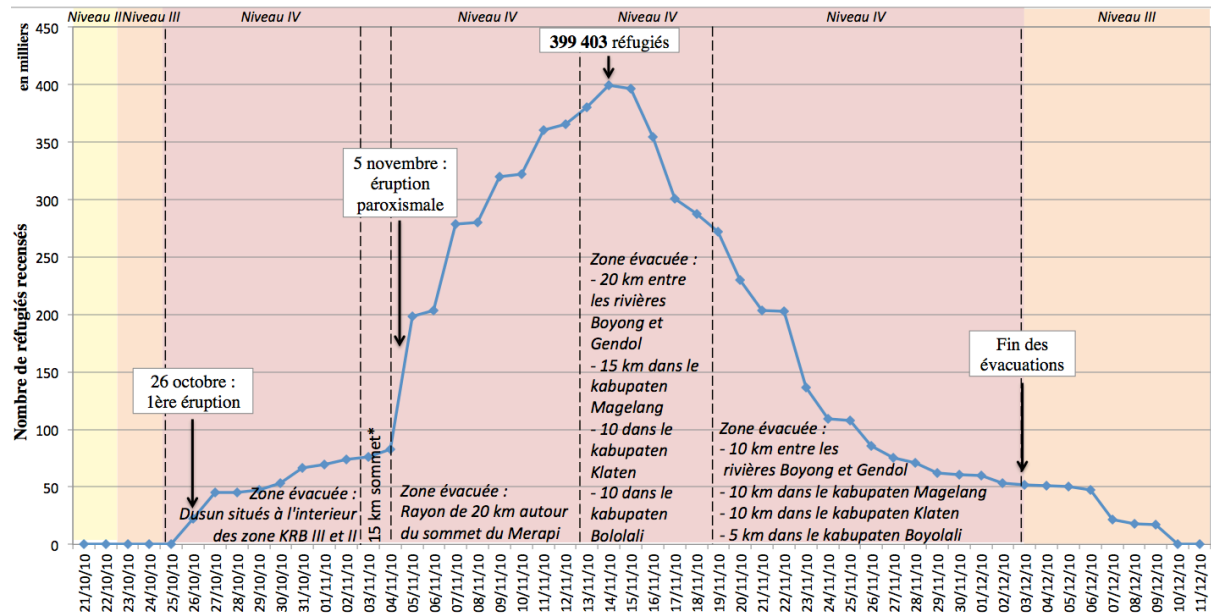


Figure 64. Nombre de réfugiés recensés par le gouvernement Indonésien des quatre kabupaten du Merapi, lors de la crise de 2010. Source : Mei et al., 2012

*Zone évacuée : *Dusun* situés dans un rayon de 15 km autour du sommet du Merapi

Mei (2013) montre que les chiffres officiels de personnes évacuées et déplacées ne représentent qu'une partie de la réalité car, comme il l'a été dit précédemment, le gouvernement Indonésien n'avait pas prévu qu'une crise de cette ampleur pouvait avoir lieu et les infrastructures n'étaient pas suffisantes pour accueillir l'ensemble des villageois situés dans un rayon de 20 km du sommet du Merapi. Ces réfugiés se sont rendus pour environ 40% dans les camps officiels et le reste dans des camps de fortune privés (écoles coraniques, maisons de riches familles, entreprises,...) ou chez des membres de leur famille. Mei estime à environ un million le nombre de personnes déplacées durant la crise (Figure 65).

Le 3 décembre, le niveau d'alerte descend du niveau IV au niveau III, en raison de la baisse de l'activité du volcan, tous les habitants sont alors autorisés à retourner vivre dans leurs villages.

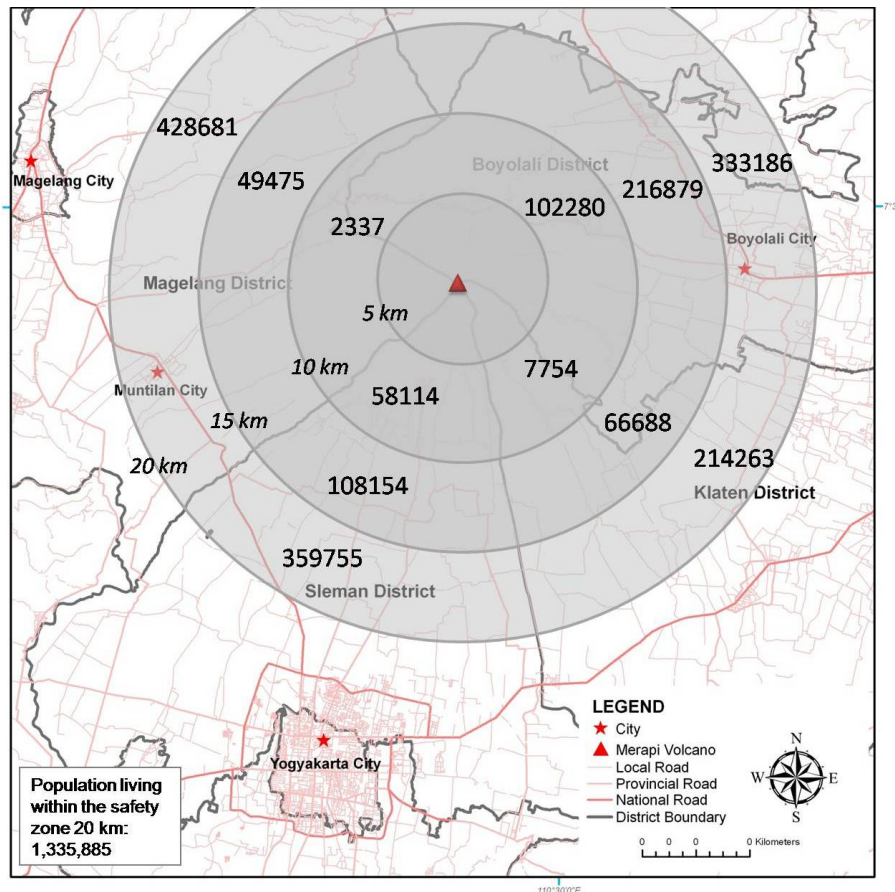


Figure 65. Populations vivant dans les zones à risque

Source : Mei et al., 2011.

A la suite de ces événements, 2 686 familles se sont retrouvées sans logement. Passée la période de crise immédiate, deux options ont été offertes aux victimes. La transmigration pour une centaine de familles ou le relogement dans des habitations semi-permanentes en attendant, pour certains, une relocalisation (Chapitre IV).

Des informations plus précises concernant les évacuations liées à l'éruption du Merapi de 2010 ont été publiées (Mei et al. 2011 ; Mei et al, 2012).

4.2. Pourquoi tant de victimes à Kinahrejo et à Bronggang ?

Les dusun Kinahrejo et Bronggang ont été les plus meurtris respectivement par les éruptions du 26 octobre et du 5 novembre 2010. Cependant ces pertes ont eu lieu à cause de raisons différentes.

4.2.1. Kinahrejo et les victimes de la tradition

Le 26 Octobre, un *blast* atteint le village de Kinahrejo, sur le flanc sud du volcan ; 33 personnes qui avaient refusé d'évacuer sont tuées, dont Mbah Maridjan, le gardien du volcan. Comme nous l'avons vu précédemment, les victimes de cette première éruption étaient toute présentes autour du *juru kunci*. Celui-ci estimait qu'il était de sa responsabilité de surveiller le volcan et de protéger d'éventuelles personnes perdues sur les flancs du Merapi, ses voisins et amis, dont la chamane et le conducteur du « cheval sacré » effectuaient des rituels visant à apaiser l'activité du volcan. Des journalistes venus couvrir le refus d'évacuer de mbah Marijan, comme lors de l'éruption de 2006, étaient présents. Toutefois, la médiatisation du gardien du volcan faisant de la publicité pour une boisson énergisante et ses conflits par presse interposé lors de la crise de 2006 ont fait baisser sa crédibilité auprès des villageois du Merapi, y compris dans son propre village. De plus les autorités ont réussi à convaincre la plupart des habitants des zones à risque d'évacuer à temps. Ce qui contribua au fait que le nombre de victimes de cette éruption fut très faible.

La tradition peut avoir de lourdes conséquences lors de catastrophes volcaniques, comme ce fut le cas aussi au mont Agung situé sur l'île de Bali en mars 1963. La catastrophe eut lieu le jour de la plus grande des cérémonies balinaises *Eka Dasa Ruda* (Lavigne et al. 2008). Cette cérémonie est un exorcisme du mal qui a lieu tous les 100 ans (Whitten et al., 1996). La date de la célébration avait été avancée de 16 ans par le président Sukarno, qui voulait impressionner une convention d'agents de voyages. Au milieu de la cérémonie, le volcan entama son éruption la plus violente depuis 600 ans. Elle commença par l'expulsion de cendres et de fumée qui recouvrit l'assistance. Les coulées pyroclastiques se dirigeant vers la procession hindoue, les brahmanes se mirent à prier dans l'espoir d'apaiser les dieux en colère en assurant aux fidèles qu'ils n'avaient pas à craindre le volcan. Finalement, 1 600 personnes furent tuées par l'éruption et 86 000 villageois se retrouvèrent sans abris (Mathews, 1983).

Le poids des facteurs culturels est si important que beaucoup de personnes vivant sur les volcans se mettent en danger à cause de leurs croyances. En Indonésie, comme dans de nombreux pays, les populations vivant sur les pentes des volcans actifs sont souvent venues se réfugier dans des zones à risque à la suite de percussions pour des raisons politiques, culturelles et plus souvent religieuses. C'est le cas du plateau de Dieng en Indonésie, où plus de 500 000 personnes vivent dans cette zone exposée au risque d'éruptions phréatiques

pouvant générer des nuages de CO₂ mortels (Lavigne et al., 2008). La zone est située dans une cuvette à 2 000 m d'altitude qui piège les gaz invisibles et inodores et peut tuer des centaines de personnes, comme ce fut le cas en 1979 où 149 personnes furent asphyxiées. La région a été l'une des dernières de Java à abriter une communauté hindouiste après l'islamisation qui débuta au XVI^{ème} siècle.

À l'Est de Java, une communauté Hindouiste appelée Tengger, du nom de la caldeira dans et autour de laquelle ils vivent, se sont installés dans cette zone pour des raisons identiques. Habitants dans des régions encore plus reculées que les habitants de Dieng, les Tengger ont conservé une grande part de leurs traditions, en lien avec les chevaux. Ils effectuent encore beaucoup de rituels animistes comme des danses, des offrandes aux volcans (cérémonie du Kasodo) et se marient à cheval. Le village de Ranupani, le plus gros de la communauté Tengger est situé entre deux volcans très actifs. Au Nord, la caldeira de Tengger où se trouve le volcan Bromo qui entre très régulièrement en éruption et au Sud de celle-ci, le volcan Semeru qui est en activité quasi-permanente et se manifestant régulièrement par des panaches de cendres et des coulées pyroclastiques.

Au Philippines, les volcans sont également peuplés de populations marginalisées et qui sont exposées aux aléas volcaniques. C'est le cas des habitants du volcan Kanlaon qui, encore aujourd'hui, sont en marge des décisions prises par le gouvernement philippin pour la réduction des risques naturels sur leur volcan (Cadag et al., 2012).

De nombreux auteurs (Chester, 2005 ; Gaillard et Texier, 2010 ; Mercer et al., 2012) ont montré le poids de la religion et de la tradition dans les facteurs de vulnérabilité et insisté sur le fait qu'il est indispensable de prendre en considération la culture des populations lors de la planification des plans de gestion des risques. Ils expliquent également que, compte tenu de l'influence de la religion pour l'opinion mondiale, et du nombre important de victimes de catastrophes, il est nécessaire de développer le dialogue entre les scientifiques, les sociologues, les théologiens et les membres de communautés religieuses. Au delà de cela, ces communautés vivant dans les zones à risques peuvent partager leurs connaissances locales (démographie, culture, vulnérabilité des populations,...) avec les scientifiques et les autorités locales afin de continuer à réduire les risques (Kelman et al., 2012).

4.2.2. Bronggang, les victimes de la mémoire collective limitée

Dans la nuit du 4 au 5 novembre, le dôme du Merapi s'effondre, les écoulements pyroclastiques dévalent les flancs du volcan en directions du Sud. Cette nuit là, les coulées pyroclastiques et leurs déferlantes parcourent une distance de 17 km dans le chenal de la rivière Gendol et touche les villages alentours. Quand l'ordre d'évacuer est donné dans les villages situés à l'intérieur d'un rayon de 20 km du sommet du Merapi, l'évacuation ne se déroule pas efficacement. D'une part, les habitants de ces villages n'ont jamais évacué, car ils ne sont pas équipés pour évacuer l'ensemble des familles et ne savent pas où se diriger ; en plus, la perception du risque est très faible.

En général, en Indonésie, la perception des risques est mauvaise en raison d'une absence de mémoire collective ou de culture du risque volcanique. Dans certaines régions, le risque est oublié, généralement quand un volcan n'a pas d'activité pendant plusieurs centaines d'années. C'était le cas dans la région du volcan Sinabung, sur l'île de Sumatra, qui entra en éruption en août 2010 (Iguchi et al., 2011) après 400 ans de sommeil. Les villageois qui habitaient sur les flancs du volcan ne savaient pas que le volcan était encore actif. Ce fut également le cas aux Philippines, lorsque le volcan entra en éruption après 500 ans de sommeil. Les populations et le gouvernement n'avaient pas conscience du risque (Gaillard, 2008). Ainsi, la déforestation intensive joua-t-elle un rôle dans l'instabilité des sols qui provoquèrent des glissements de terrains et des lahars importants et dévastateurs.

Lavigne et al. (2008) ont mené une étude à Java, sur la perception des risques aux volcans Sumbing et Sindoro ainsi qu'au plateau de Dieng. Les résultats de l'étude ont montré que le risque était oublié par 70% des villageois des Sumbing et Sindoro. Seul 25% des répondants pensaient que les volcans jumeaux pouvaient être dangereux, les cinq autres pourcent, avaient entendu dire que les volcans pouvait être dangereux. Enfin, à Dieng, en raison des éruptions récentes, le risque est accepté par les villageois essentiellement pour des raisons économiques et par fatalité. De plus les habitants de la région ne connaissaient pas bien l'aléa puisque 43% ne savaient pas qu'il y avait des volcans dans la région.

Au contraire au Merapi, le risque est banalisé dans les zones hautes du volcan qui sont évacuées tous les 3 à 5 ans. Depuis le début du siècle dernier, à chaque deux ou trois éruptions, les écoulements pyroclastiques touchent des zones différentes. Les villageois des zones KRB II et III ont donc des notions des risques et connaissent les procédures d'évacuation. Cependant, lors de l'étude des facteurs culturels de la vulnérabilité, il a été démontré que le dusun Kinahrejo, où vivait Mbah Marijan était construit sur des dépôts

d'écoulements pyroclastiques datant du début du siècle dernier sans qu'aucun habitant du village ne le sache, ce qui permet de dater la limite de la mémoire collective de la zone.

A Bronggang et dans les autres dusun touchés dans la zone située à l'extérieur des zones KRB II et III, la perception du risque était nulle. Aucun des villageois ne pensaient que les coulées pyroclastiques pouvaient parcourir plus de 15 km et se sentaient donc en sécurité. Quand l'ordre d'évacuer fut donné, les habitants n'étaient ni prêts à évacuer, ni conscients du risque encouru, ils sont donc partis mais sans précipitation. Certains ont emmené une partie de leur famille en dehors de la zone d'évacuation, et prévu de retourner chercher le reste de leur famille après cela. Beaucoup de victimes de cette nuit là étaient des personnes n'ayant pas conscience du risque, en cours d'évacuation ou en attente de moyen de transport pour partir.

Le bilan des victimes pour une éruption de l'intensité de celle de 2010 est somme tout assez faible en égard au nombre total de personnes vivant sur les flancs du volcan. La mort du gardien du volcan a eu pour conséquence la mort de personnes de son entourage, ce qui fit prendre conscience aux villageois du danger de l'éruption. Ainsi, le directeur de la volcanologie a-t-il gagné du crédit auprès des populations. Ce dernier, avec les responsables des gouvernements des *kabupaten* a réussi à prendre les bonnes décisions pour évacuer les populations au bon moment. Cependant, lors de l'éruption paroxysmale du 5 novembre, de précieuses heures ont été perdues à cause d'un manque de communication mais aussi une perception des risques inexistante, ce qui causa la mort de plusieurs centaines de personnes.

Chapitre IV : Réadaptation, reconversion, impacts à long terme

Ce chapitre développe la façon dont les villageois et le gouvernement font face à l'après catastrophe, où, comment et pour quelles raisons des villages détruits par l'éruption sont reconstruits au même endroit alors que d'autres sont déplacés et comment le gouvernement tente de faire diminuer la vulnérabilité des populations les plus exposées aux éruptions du Merapi.

La gestion post-catastrophe pose le problème du relogement des populations sans foyer. En Indonésie, gouvernement et villageois sont face à trois solutions :

- La reconstruction qui, à l'aide de subventions du gouvernement ou d'autres financeurs, permet aux familles de rebâtir une maison à l'emplacement de celle détruite lors de la catastrophe.
- La relocalisation qui consiste à déplacer un groupe de plusieurs familles ou un *dusun* entier dans le même *desa* ou dans un *desa* voisin. Le terrain peut soit être cédé par le *desa* d'accueil, soit acheté par le *desa* dont sont originaires les villageois, soit financé par le gouvernement. La construction des maisons est, elle, payée par le gouvernement ou par des financeurs locaux.
- La transmigration qui consiste à déplacer des populations par familles ou par groupe de familles d'un même *dusun* de Java vers une autre île de l'archipel, moins peuplée, comme Kalimantan (Bornéo), Sumatra ou la Papouasie. Le Ministère de la Main d'œuvre et de la Transmigration prend en charge les frais de déplacement, offre une maison, un terrain, un jardin et d'autres avantages en nature (riz, huile, etc.) pendant une durée déterminée.

1. Reconstruction et relocalisation

L'éruption de 2010 a détruit totalement ou partiellement 21 villages de part et d'autre de la rivière Gendol. Dans les jours qui ont suivi la levée de l'ordre d'évacuation, les habitants sont retournés dans leurs villages pour estimer les dégâts. En aval de la Gendol, les

habitants dont les maisons étaient partiellement détruites sont revenus nettoyer, réparer puis ré-emménager. En amont de la rivière, la situation est différente en fonction de la rive de la Gendol. Le gouvernement a interdit la zone à la reconstruction et a souhaité la réserver pour en faire un lieu touristique, des jardins agricoles, ou étendre le parc national du Merapi. Mais l'avenir des villageois n'a pas été tranché. Dans un premier temps, ceux-ci ont été placés dans des camps de réfugiés (*shelters*) aux conditions précaires dans l'attente d'une décision gouvernementale. Au début de l'année 2011, 1 000 familles vivaient dans les camps précaires, en bambou, aux toits en tôle ondulée et pour la plupart sans fenêtres. Dès le début de l'éruption, le gouvernement indonésien a refusé toute aide internationale et a voulu gérer la crise seul. Or, vu l'importance du nombre de villages détruits, il n'a pas eu les moyens de financer la relocalisation temporaire des habitants du Merapi. Des subventions privées indonésiennes ont été attribuées aux camps de réfugiés provisoires (prévus pour deux ans) pavés aux couleurs des donateurs : chaînes de télévisions, banques ou partis politiques. Dans ces conditions déplorables, les villageois ont eu envie de retourner au plus vite dans leur village où ils pouvaient cultiver leur jardin et élever leur bétail. Le gouvernement leur a annoncé un temps de latence de deux ans durant lequel les villageois recevront une indemnité journalière - dérisoire - de 5 000 rupiah (0,4 euro) le temps que soit trouvée une solution pour reloger ces familles.

Au printemps 2011, à l'ouest de la rivière, autour du village très médiatisé de Mbah Marijan, le gardien du volcan tué par l'éruption, la zone a formellement été interdite à la reconstruction. Encore traumatisés par l'éruption, la majorité des villageois de cette zone attendent patiemment une décision du gouvernement. Le gouvernement veille à ce que les villageois ne retournent pas habiter à l'emplacement de leur ancien village.

Le gouvernement a interdit aux habitants de retourner dans leurs villages en amont du volcan mais devant les conditions précaires et l'absence d'aide, la plupart des villageois des *desa* situés à l'Est de la rivière Gendol, sont revenus chez eux pour y reconstruire les maisons. Les villageois ont cherché des subventions à Jakarta, auprès de différents organismes financiers telle que la banque Mandiri qui a financé la reconstruction d'un nombre important de maisons du *dusun* Kalitengah Lor (Fig. 66). Dans un premier temps, le gouvernement de la province de Yogyakarta a fermé les yeux, ne sachant comment aider les habitants, ni où les reloger. En juillet 2011, dépassé par la situation et constatant la

détermination des villageois à retourner chez eux, la Province a financé l'installation de bassins à poissons chat, sans pour autant lever l'interdiction de reconstruction. Chaque maison reconstruite dans la zone interdite, a eu droit à un bassin pour aider au redéveloppement de l'économie locale. Sur cette rive de la Gendol, peu médiatisée, le gouvernement a donc cédé et laissé les habitants se réinstaller en apportant une aide minime ce qui réduit ainsi la charge consistant à aider les habitants des zones à risque à se déplacer vers des zones plus sûres.



Figure 66. Habitant de Kalitengah Lor, de retour chez lui après avoir reconstruit sa maison au même emplacement qu'avant l'éruption.

1.1. Bronggang, le village renaît de ses cendres

Le 3 décembre, le niveau d'alerte émis par le BPPK passe du statut IV au statut III, l'ordre d'évacuation est révoqué et les habitants sont autorisés à rentrer dans leurs villages. Les villageois de Bronggang rejoignent leurs maisons, excepté ceux dont les maisons ont été détruites ou très endommagées par l'éruption. Pour ceux-ci, le chef du *dusun* loue avec les fonds du village une maison à Kalasan pour les loger provisoirement.

Avec la fin de l'interdiction de l'accès à la zone sinistrée, les touristes affluent chaque jour sur le volcan pour observer les dommages causés par les coulées pyroclastiques. L'organisation des jeunes du village en profite pour organiser un système de parking payant

pour les touristes et ainsi récolter de l'argent pour aider les villageois encore évacués et leur permettre de restaurer les maisons, réparer le système d'alimentation en eau du village, rétablir le réseau routier et s'équiper de talkie-walkie pour communiquer avec les autres villages et le BPPTK pour ainsi développer un système d'alerte local lors des futures éruptions et des lahars.

En janvier 2011, le BPPTK publie la nouvelle carte d'aléa définissant les zones KRB I, II et III. Le village de Bronggang qui était situé en dehors de toute zone à risque, se situe désormais dans la zone KRB III, zone la plus exposée aux coulées pyroclastiques.

Le gouvernement décide de construire des maisons temporaires pour les sinistrés et pour les habitants dont les maisons se trouvent dans la zone KRB III. Par ailleurs, le BPPTK déclare que la zone située à 300 mètres de part et d'autre des rivières est potentiellement exposée aux risques de lahars. Par conséquent, à Bronggang, 30 familles qui ne peuvent plus habiter leur maison et 30 autres familles dont les maisons sont situées à moins de 300 mètres de la rivière Gendol bénéficient de ces maisons temporaires. Le gouvernement prévoit de maintenir ces familles dans ces conditions provisoires pour une période maximum de deux ans. Après cela, les villageois pourront choisir entre un programme de « relocalisation » ou un programme de « transmigration ».

L'éruption de 2010 a changé la perception des risques volcaniques des villageois de Bronggang. En juin 2011, ils se déclaraient traumatisés et affirment que, si une nouvelle éruption devait se produire, ils se prépareraient à évacuer dès le niveau d'alerte III et évacueraient dès le niveau d'alerte IV même si leur village ne recevait pas l'ordre d'évacuer. Au moment de ces entretiens, un plan d'évacuation n'avait toujours pas été réalisé et les habitants se demandaient où ils devront évacuer. La perception du risque de lahar a changé elle aussi. Les villageois ont peur qu'un lahar quitte le lit de la rivière et frappe leur village, comme cela s'est produit au début de l'éruption. L'association des jeunes du village a d'ailleurs mis en place une surveillance des lahars. Dès que des précipitations ont lieu sur le volcan, des jeunes se postent en bordure de la rivière et restent en communication avec d'autres jeunes situés dans le village à l'aide de téléphones portables et connectés par talkie-walkie à la fréquence de surveillance du BPPTK. En cas de lahar, ils peuvent ainsi rapidement organiser une évacuation des habitants du village.



Figure 67. Travaux de canalisation de la rivière Gendol, janvier 2011

Dès le début de l'année 2011, le Ministère des Travaux Publics indonésien a entrepris de canaliser la rivière Gendol pour faire face aux futurs lahars et ainsi protéger le village de Suruh-Bronggang. Dans un premier temps, des dizaines de pelleteuses ont extrait le sable brûlant, déposé par les écoulements pyroclastiques afin de recréer un lit mineur pour la rivière (Fig. 67). Le sable extrait était donné à qui pouvait l'emporter, ainsi de nombreux particuliers se sont mobilisés pour extraire ce sable. Dans un second temps, le ministère a réalisé des digues aux endroits les plus sensibles.



Figure 68. Sacs de sable protégeant le nord du village de Bronggang.

Au niveau local, les villageois de Bronggang ont eux-mêmes bâti des digues à l'aide de sacs de sable afin de protéger les maisons en amont du village, les plus proches de la rivière (Fig. 68).

1.2. Kinahrejo un village détruit, des habitants délaissés par le gouvernement

1.2.1. Les villageois de Kinahrejo dépourvus de tout

Quand le niveau d'alerte est passé du niveau IV au niveau III, le 3 décembre 2010, les habitants de Kinahrejo ont été autorisés à retourner chez eux mais ont retrouvé un village totalement rasé, et/ou enseveli. Le gouvernement indonésien, qui a refusé dès le début de l'éruption toute aide venant de l'extérieur du pays s'est chargé du relogement dans des camps temporaires de 2 613 familles dont les maisons étaient inhabitables. Face à l'incapacité de respecter seul son engagement, le gouvernement a ensuite fait appel à des entreprises privées pour financer des maisons provisoires destinées aux sinistrés. De nombreuses entreprises ont répondu à l'appel : des chaînes de télévisions, des universités, des organisations religieuses, des partis et des hommes politiques désireux de se racheter une image pour une prochaine élection, lancent des projets en affichant largement la provenance du financement. Ces maisons temporaires sont construites pour être le moins cher possible, avec un sol en terre battue, des murs sans fenêtres en bambou tressé qui laissent passer la pluie en cas de fortes averses – phénomène récurrent en saison des pluies - et un toit en tôle ondulée transformant la maison en four dès le moindre rayon de soleil. Afin de réduire encore les coûts, les maisons sont les plus petites - en moyenne 25 m² - et les plus agglomérées possibles. Une fois ces maisons temporaires construites, le gouvernement attribue une maison par famille sinistrée (jusqu'à 8 personnes par maison) et une indemnité journalière de 5000 rupiah (0,4 euro) par personne. Il est prévu que les sinistrés restent dans ces maisons deux ans, le temps de déterminer les aménagements futurs, et de prendre les décisions qui s'imposent.

Dès la réouverture de la zone évacuée, les 207 habitants de Kinahrejo (86 familles) sont retournés sur les décombres de leur village soufflé et brûlé et ont découvert que la forêt-ressource située au Nord du village avait subi le même sort. Ayant tout perdu, ces villageois se sont retrouvés sans activité. Le village a été le premier touché par l'éruption, si bien que le bétail n'a pas été évacué à temps. Les vaches du village ont été tuées or, elles constituaient la seule ressource de plus de la moitié des habitants du village. Le gouvernement avait prévu de dédommager chaque éleveur pour chaque tête de bétail. Une fois installées dans les maisons provisoires du *shelter* de Plosokerep dans le *desa* d'Umbulharjo (Fig. 69), loin de leur village et donc du peu de forêt restant, les éleveurs se sont retrouvés sans travail. Certains ont pensé

exploiter le sable, comme des milliers de villageois en aval du volcan. Mais la chute des prix du sable liée à son abondance dans les principales vallées du volcan, ainsi que le nombre de mineurs et la migration des lieux d'exploitation d'amont vers l'aval (l'aval étant plus près des routes principales et donc plus facile d'accès et moins coûteux en essence) ont fait que seuls peu des anciens mineurs ont pu reprendre leur activité initiale.



Figure 69. *Shelter* de Plosokerep, Umbulharjo

1.2.2. L' « axe sacré » brisé par l'éruption, permet aux villageois de repartir, dans un contexte culturel pérenne

Pour gagner de l'argent et trouver une nouvelle activité, les villageois se sont réunis en communauté et cela sans aucune aide ou décision gouvernementale ou d'un quelconque chef de village. Ils ont déblayé l'ancienne route qui montait à la maison du *juru kunci*, très visitée depuis les publicités pour « *Kuku Bima* », Ils ont installé un péage et transformé un ancien champ en parking payant. Rapidement, de nombreux curieux ont voulu voir où Mbah Marijan était décédé, demandant des détails aux villageois, qui, moyennant finance, les accompagnent avec leur moto jusqu'au lieu du drame. Très vite, des milliers de visiteurs par semaine ont afflué à Kinahrejo, pour atteindre un pic de 8 000 visiteurs le 31 décembre 2010.

Dans un premier temps, bon nombre d'habitants installent des échoppes rudimentaires (Fig. 70) pour vendre aux visiteurs des boissons, quelques fruits, des nouilles instantanées, des snacks et des souvenirs.



Figure 70. Développement du tourisme à Kinahrejo

En février 2011, la communauté ouvre un restaurant (Fig. 71). Son inauguration a donné lieu à une danse traditionnelle, le *Jatilan – Kuda Lumping*. Cette danse populaire est un symbole fort de la tradition et montre que dans la société javanaise, majoritairement musulmane, l'animisme garde une place centrale dans la vie des habitants. Cette danse est ainsi pratiquée lors d'évènements importants afin d'apaiser la « force » ou les esprits ou de communiquer avec eux.



Figure 71. Le café Kinahrejo, Argo Wisata Kinahrejo

Il existe plusieurs formes de *Jatilan*, celui de la région de Kinahrejo est originaire du village de Kaliurang où résident encore les grands maîtres. Le maître de cérémonie, le *pawang*, ouvre la danse en faisant une prière avec de l'encens et fait claquer son fouet plusieurs fois sur le sol puis la musique de gamelan commence, les danseurs - *solawat*, *sinden* et *campursari* - arrivent pieds nus en plein soleil, chevauchant des chevaux de palme tressée et commencent à danser (Fig. 72). Le rythme de la musique s'intensifie doucement et au bout d'une heure, les premiers danseurs entrent en transe, possédés dit-on par un esprit ou la « force ». Les maîtres de cérémonie communiquent avec ces derniers et répondent à leurs désirs – en leur apportant des objets, de l'eau, des fleurs à manger -. Il n'est pas rare de voir certains danseurs en transe avaler des tessons de verre ou manger du charbon ardent, de se prendre pour des animaux ou même de dévorer un poulet vivant de passage sur la piste de danse. Quand le danseur commence à se mettre en danger ou à s'affaiblir, le maître de cérémonie le fait sortir de son état de transe, en se mettant à danser avec le possédé et en faisant claquer son fouet à plusieurs reprises jusqu'à ce que le danseur tombe dans les bras des *angkuta*, les assistants du maître. Ce dernier récite alors une prière et libère le danseur. Ce rituel se répète jusqu'à ce que tous les danseurs soient libérés.

Encadré 3. Le *jatilan*, symbole de la tradition immuable.



Figure 72. Danseur de *Jatilan* sur son cheval

La représentation du *Jatilan* le jour de l'ouverture du restaurant de Kinahrejo était très importante pour les habitants du village et montre que malgré la mort du gardien du volcan, pendant l'éruption, qui a bousculé l'équilibre spirituel de la région, la tradition javanaise ne se perd pas et se réapproprie vite cet espace.

Depuis l'inauguration du restaurant, trois femmes y sont employées en semaine, sept le weekend. Des toilettes payantes ont été installées, des T-shirts à l'effigie du gardien du volcan, de l'éruption et du village ainsi que des DVD sur l'éruption y sont vendus. L'écrivaine et journaliste Elisabeth D. Inandiak, très active dans l'aide financière et pour l'organisation de la communauté, a publié une suite de son roman *Le Banian Blanc* (Inandiak, 1998) dont tous les bénéfices sont reversés aux habitants.

En juin 2011, les touristes continuant de venir massivement, la communauté des habitants de Kinahrejo a affiné son organisation : 30 personnes travaillaient comme moto taxi pour emmener les visiteurs jusqu'à l'emplacement de l'ancienne maison du gardien du volcan ; un quart des habitants travaillaient directement dans le secteur du tourisme pour la communauté. Le dimanche est le jour où l'activité est la plus importante, en moyenne 500 tickets d'entrée sont vendus. Toute cette activité leur avait permis, en juin 2011, de récolter 200 millions de rupiah (16 700 euros).

1.2.2 Les villageois contraints de gérer et d'innover pour survivre

Leur motivation pour s'en sortir a augmenté en intensité quand les habitants se sont rendus compte qu'après l'éruption ils ne pouvaient compter que sur eux-mêmes. Les chefs des *dusun* voisins de Kinahrejo ont été dépassés par la crise et ont perdu toute crédibilité en abandonnant leurs responsabilités. Certains ont quitté les habitants de leur village pour s'installer, en ville chez des membres de leur famille. En conséquent, un problème administratif a surgi. Dans cette partie du volcan, les chefs de *dusun* sont élus pour 50 ans ; tant que le chef ne quitte pas officiellement ses fonctions ou ne décède pas, il n'est pas remplacé et l'organisation fallacieuse d'élections ne pousse pas les habitants à lancer les démarches pour remplacer un chef de *dusun* déserteur. La communauté n'a donc pas eu d'autre choix que de s'autogérer.

Un mois après l'emménagement des villageois dans les maisons provisoires du *shelter* de Plosokerep, le gouvernement provincial a installé – sans consulter ni les représentants des réfugiés, ni les réfugiés eux-mêmes – de grands bassins à poissons près des maisons provisoires. Un matin, devant des dizaines de journalistes, le Sultan Hamengkubuwono X est venu inaugurer, ces bassins en apportant une centaine de poisson-chat (*lele*). Lors de la cérémonie, les habitants ont appris que les poissons étaient offerts pour les aider à développer une nouvelle activité économique. Le problème est que les habitants n'avaient jamais pratiqué la pisciculture, personne ne leur a expliqué comment s'y prendre et

de ce fait, ils n'ont pas été intéressés dans cette reconversion. De ce fait, un mois après la venue du Sultan, les piscines à poisson-chat étaient devenues des bassins d'eau croupie où à défaut de poissons, ce sont les moustiques qui pullulaient (Fig. 73). Estimant avoir suffisamment aidé les habitants en installant ces bassins, la province de Yogyakarta a alors supprimé l'indemnité de 5 000 rupiah par jour et par sinistré.



Figure 73. Les bassins à poissons abandonnés du *shelter* Plosokerep, un an après leur installation.

Cette décision semble montrer la volonté des autorités gouvernementales pour pousser au départ les villageois situés dans les zones à risques en y investissant un minimum d'argent.

Lâchée par le gouvernement, la communauté d'habitants a décidé de quitter les maisons provisoires au plus vite. Les habitants ont trouvé un terrain situé à l'extérieur de la zone interdite KRB III, dans la première zone de danger (KRB II), à Karang dans le *desa* d'Umbulharjo, un champ de 2 hectares qui a coûté 326 millions de rupiah (27 000 euros), et qui est situé à quelques kilomètres au Sud de leur ancien village. En un dimanche moyennement fréquenté, la communauté peut gagner jusqu'à 2,5 millions de rupiah, grâce au tourisme, ce qui lui a permis de payer le terrain en juin 2011. Le gouvernement de la province de Yogyakarta a financé l'acquisition de 0,2 hectares et les villageois de Kinahrejo, les 1,8 hectares restants. Par la suite, ces derniers ont contacté le *Java Reconstruction Fund*

(Fond de reconstruction de Java), financé par la Banque Mondiale. Le fond a financé la construction des 81 maisons pour reloger l'ensemble des habitants du village (Fig. 74).



Figure 74. Les nouvelles maisons des habitants de Kinahrejo en construction (mars 2012)

La communauté a également contacté la société Danone qui prévoit d'installer sa première ferme modèle du projet Phoenix. Avec l'augmentation des coûts de transports de marchandises, celle du nombre de naissances lié à l'arrêt des campagnes du planning familial conseillant une limitation du nombre d'enfants et du fait de la croissance économique de l'Indonésie, Danone compte réduire son importation de lait en poudre de Nouvelle-Zélande en développant des fermes en Indonésie. Le projet Phoenix prévoit pour cela de créer une ferme modèle qui sera un lieu de formation et de développement pour l'Indonésie. La société a déjà prévu d'acheter le terrain voisin de celui prisé par les habitants de Kinahrejo afin de développer le programme en partenariat avec eux. Le projet prévoit de maintenir une gestion communautaire des villageois en installant de grandes étables communes où les habitants obtiendront un emploi d'éleveur, de ramasseur de fourrages plus haut sur le volcan ou de conducteur de camion pour acheminer le fourrage,...

En installant cette ferme à Kinahrejo, Danone qui prévoyait déjà de développer ce projet avant 2010, tire ainsi profit de cette situation qui remet en cause l'activité des villageois sinistrés. Cela permet à l'entreprise de proposer un nouveau système d'organisation communautaire, alors que les villageois n'ont plus aucune organisation agricole. De plus cette activité, en aidant les habitants sinistrés, permet à Danone de se donner une image positive en Indonésie.

1.2.3. La tradition, outil de gestion de crise pour le gouvernement

La mort de mbah Marijan a été un élément décisif dans la suite de la gestion de la crise car une partie des villageois qui croyaient aux pouvoirs « magiques » du gardien ont alors pris conscience des risques qu'ils encourraient. Cette prise de conscience a exacerbé la perception du risque des villageois du volcan et au delà a permis aux scientifiques d'augmenter leur crédibilité. Ainsi, dans les jours suivants, de nombreux villageois ont commencé à appeler le directeur du CVGHM « mbah Rono » (« grand père Rono ») en référence à mbah Marijan. Beaucoup de gens ont vu en lui le nouveau gardien du volcan. Il est alors devenu un personnage très médiatique et de confiance, très écouté par les populations locales dont il a gagné la confiance. On peut dire que la mort du gardien du volcan a certes causé la mort de quelques personnes mais en a sauvé plusieurs milliers d'autres en changeant la perception des risques des habitants de la région.

Début avril 2011, le *Kraton* de Yogyakarta souhaitant garder le contrôle de la tradition a rapidement nommé un nouveau *juru kunci* pour le Merapi. Il s'agit du fils de mbah Marijan, mas Bekel Anom Suraksosihono, surnommé mas Asih. Âgé de 44 ans, il est employé à la bibliothèque de l'Université Indonesia Islam de Yogyakarta (UII), et fait donc partie du personnel administratif dans le milieu universitaire et scientifique. C'est pourquoi sa nomination a été saluée par la communauté scientifique et les différents représentants politico-administratifs de la région. En le nommant gardien, ces derniers espèrent la coopération de mas Asih en cas de crise future et éventuellement sa collaboration pour faire évacuer les populations vivant sur le volcan.

Au village de Kinahrejo, en revanche, les habitants sont déçus par cette nomination. Dès le début de la crise, mas Asih a en effet quitté les habitants de Kinahrejo pour aller trouver refuge chez des membres de sa famille à Yogyakarta et ne s'est pas occupé de ceux de sa communauté. De plus, au moment de l'enterrement de son père et des autres membres du village décédés le même jour, il a fait enterrer mbah Marijan à part alors que la tradition aurait voulu qu'il soit enseveli dans la fosse commune avec ses voisins. Enfin, après le retour des habitants sur le volcan, mas Asih n'a pas non plus apporté d'aide particulière aux membres du village. Toutes ces raisons font que le fils de l'ancien gardien du volcan, n'a pas une image positive auprès des villageois de Kinahrejo et selon eux, il n'a aucune légitimité pour être le nouveau *juru kunci*.

La nomination politique d'un personnage spirituel par un Gouverneur – Sultan montre bien la complexité de la gestion du risque dans cette région. Les institutionnels pensent que le

nouveau gardien pourra favoriser l'efficacité de la gestion de futures crises alors qu'il n'a pas de légitimité au sein des communautés rangées du côté de la tradition par conséquent son influence risque d'être limitée. Ce fut le cas au volcan Kelut, dans la province de Java Est, où le gouvernement a nommé, mbah Ronggo, un *dukun* (sorte de sorcier animiste javanais) comme gardien du volcan en pensant qu'il allait être pris en considération en cas d'évacuation du volcan. De Belizal et al. (2012) ont montré que très peu de villageois croient en ce *juru kunci*, et ces habitants du Kelut écoutent les recommandations du *dukun* mais font également confiance aux scientifiques.

La tradition javanaise et les croyances animistes sont encore très fortes en Indonésie et particulièrement à Java. Si une éruption perturbe ces croyances, les habitants s'adaptent en les faisant renaître, comme ce fut le cas avec le *kuda lumping* à Kinahrejo et c'est comme cela que l'on pourrait expliquer la pérennité de ces croyances locales. Cependant, l'instrumentalisation de la tradition par le gouvernement est un échec. Les villageois les plus pratiquants sont souvent au cœur de la culture Javanaise sont ceux qui la comprennent le mieux et ces actions du gouvernement agacent les gens en leur donnant le sentiment d'être pris pour des imbéciles.

2. La transmigration, une solution en cas de catastrophe ?

La transmigration a pour but, officiellement, de déplacer des habitants d'une zone surpeuplée vers une zone faiblement peuplée voire déserte. Plus récemment, la transmigration a permis à des villageois dont les villages ont été détruits par une catastrophe naturelle de participer prioritairement au programme. Ce fut le cas notamment pour plusieurs familles à la suite de l'éruption du Merapi de 2010. Depuis les années 1980, la Banque Mondiale a soutenu le programme de transmigration en Indonésie à travers sept projets pour un montant total de 560 millions de dollars.

Les objectifs affichés pour le gouvernement indonésien dans les prospectus publicitaires sont de « donner du travail aux familles pauvres et de leur permettre de s'autonomiser », « d'améliorer le bien être familial », créer de « nouveaux centres de croissance économique » et « l'unité de l'Indonésie » notamment par une croissance démographique égale sur toutes les îles de l'archipel.

2.1 La transmigration, héritage de la colonisation

Ce type de programme a été développé par les colons hollandais dans le début du XX^{ème} siècle (Mac Andrews, 1978). À cette époque la transmigration était utilisée pour envoyer de la main d'œuvre essentiellement javanaise vers les plantations de café et de cacao de Sumatra. Après l'indépendance, le programme fut maintenu. Il connut son apogée sous le régime de Suharto durant lequel plusieurs millions de Javanais, Balinais et Madurais furent envoyés vers les îles de Kalimantan (Bornéo), Sumatra, Sulawesi (les Célèbes) et la Papouasie (Irian Jaya). La Banque Mondiale aida le régime de Suharto dans son objectif affiché de lutter contre le surpeuplement des trois îles. Mais, le gouvernement a aussi utilisé la transmigration pour d'autres raisons que celle d'offrir une vie meilleure à ses habitants. Il a continué d'utiliser la main d'œuvre comme le faisaient les colons, afin d'exploiter les matières premières des îles. Ce fut le cas à Lampung, Sumatra, où, en 1981, 60 % des 3 millions d'habitants de la province étaient des transmigrants.

Dans les années 1980, 27 726 familles ont été envoyées en Papouasie. Ces transmigrations ont été mises en place pour deux raisons : d'une part, obtenir de la main d'œuvre dans les mines de métaux précieux et d'autre part imposer des fonctionnaires javanais afin de garder le contrôle de la région en l'islamisant. La région a en suite été gérée comme une colonie Javanaise, alors que les Papous réclamaient leur indépendance (Brundige et al., 2004).

Pour lutter contre la pression démographique dans les zones à risques, les autorités interdisent souvent aux populations déplacées de réintégrer leur village originel tels que certains *dusun* du Merapi comme Nganggrung, près de la rivière Bebung, qui a été totalement rayé de la carte à la suite des lahars de 1976 (Lavigne, 1993).

2.2. Les avantages du programme pour les transmigrants

Pour transmigrer, une famille peut s'inscrire au bureau du *kabupaten* si elle répond aux critères établis par le ministère : âge, nationalité, condition physique, religion, etc. (Encadré 4). Les villageois doivent s'inscrire par famille et répondre à toutes les conditions nécessaires. Ils sont alors enregistrés peuvent choisir le lieu où ils souhaitent transmigrer.

Le programme offre aux familles une maison construite sur un terrain de 0,25 hectares ; un jardin, terrain défriché d'une superficie de 0,75 hectares, soit inondé ce qui permet aux famille de cultiver du riz, soit sec, ce qui leur permet de cultiver fruits et légumes ; et 1 hectare de forêt qui a pour but, de devenir le moyen de subsistance de la famille. Les habitants deviennent propriétaires de leur terrain cinq ans après avoir transmigré mais ne sont pas autorisés à le vendre ; ils peuvent uniquement le céder à un membre de leur famille. C'est seulement au bout de 20 ans qu'ils sont autorisés à vendre le terrain (Sevin, 2008). Avec de tels avantages, la transmigration peut ainsi apparaître comme une solution miracle pour les familles ayant tout perdu et sans ressource. La figure 75 montre schématiquement l'organisation d'une unité résidentielle de transmigration, elle est suivie par la figure 76 qui illustre les trois types des terrains offerts aux transmigrants.

Peu de temps après l'installation des transmigrants, ceux-ci élisent un chef d'unité résidentielle de transmigration (*Kepala Unit Pemukiman Transmigrasi*) qui a pour rôle, entre autres, de diriger la coopérative de l'unité (Directeur de la transmigration de la province de Yogyakarta, comm. pers.). C'est la coopérative qui choisit le type de culture qui sera réalisée sur les parcelles de forêt attribuées. En plus d'une terre et d'une maison offerte aux familles, le programme leur prévoit d'autres avantages en nature appelés *jaminan hidup* (assurance vie) dont bénéficient pendant 18 mois les transmigrants ayant choisi une rizière inondée, et 12 mois ceux ayant choisi un champ sec. Chaque mois, les familles reçoivent gratuitement de la nourriture de la part du ministère (Encadré 4).

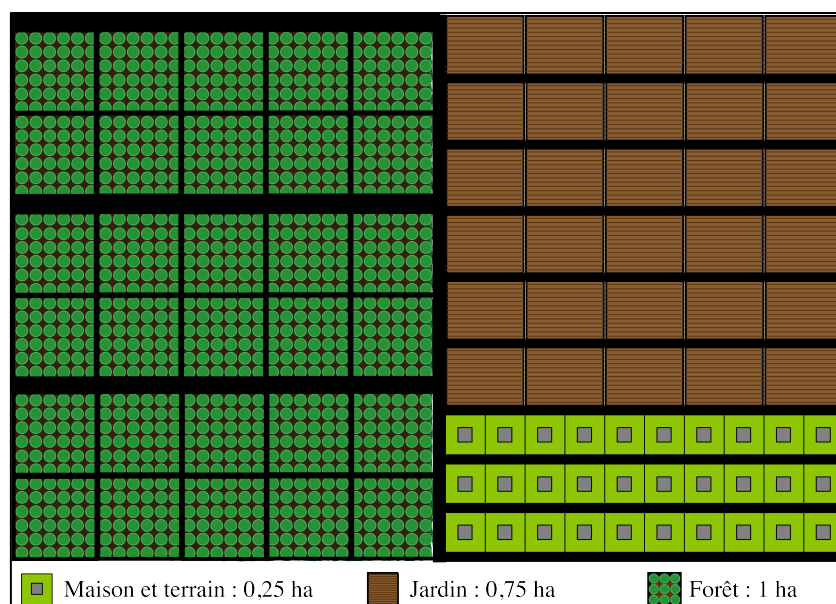


Figure 75. Une unité résidentielle de transmigration, une organisation très géométrique et structurée.

Source : d'après le bureau de transmigration de Sleman.

Les critères pour pouvoir s'inscrire au Programme de Transmigration

- être de nationalité indonésienne
- être croyant et pratiquant
- être chef de famille (en couple avec ou sans enfants ou veuf/ veuve avec enfants) et le prouver avec un certificat de mariage, une carte d'identité ou livret de famille
- être âgé de 18 à 50 ans (en âge de travailler)
- ne pas avoir déjà transmigré
- être physiquement et mentalement apte au travail
- posséder les compétences répondant aux besoins de la zone de transmigration (pêcheur au bord de la mer, agriculteur dans les terres...)
- recevoir l'autorisation légale de la part du chef du *dusun, desa, kecamatan* et de la police du lieu de départ
- signer une déclaration d'engagement face aux obligations de trans migrants et le règlement de la transmigration.

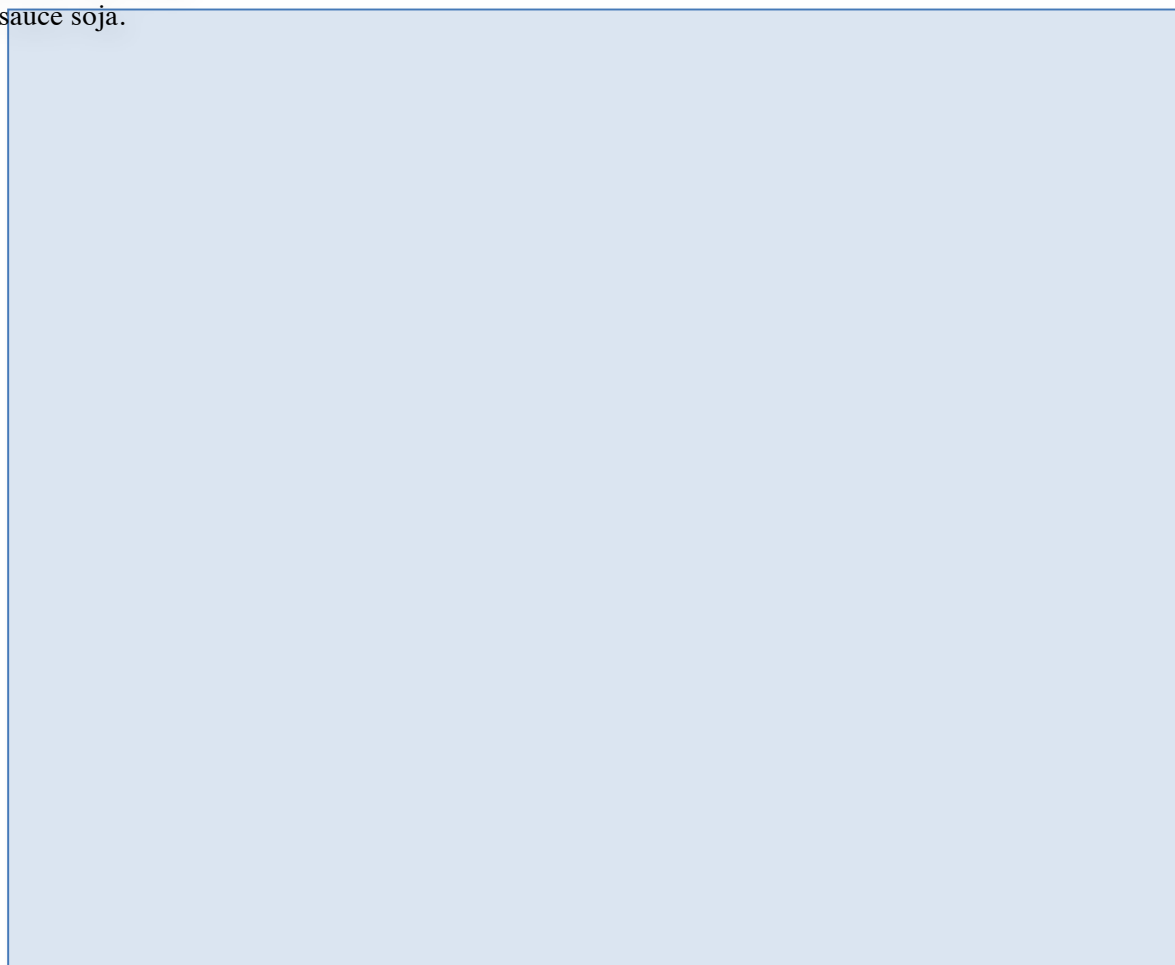


Dons en nature de la part du ministère de la transmigration (*jaminan hidup*), pour chaque famille de trans migrants pour une période de 12 à 18 mois :

- du riz : 15 kg pour un homme, 10 kg pour une femme, 8 kg pour un enfant et 16 kg pour deux enfants et plus.
- de l'huile de cuisine (huile de palme)
- du sucre
- du sel
- du poisson salé séché
- de la sauce soja.

Figure 76. Organisation d'une unité résidentielle de transmigration.

A. Jardin ; B. Maison et terrain ; C. Forêt.



Encadré 4. Une transmigration sous conditions mais qui apporte de nombreux avantages.

2.3. Une organisation difficile

Chaque année, le bureau de transmigration du *kabupaten* reçoit du Ministère de la Transmigration basé à Jakarta, un objectif/quota de nombre de familles à faire partir. À Sleman, par exemple, entre 2005 et 2010, le programme régulier concernait entre 60 et 70 familles par an. À la suite de l'éruption du Merapi en 2010, le gouvernement a décidé d'augmenter le quota pour les habitants des zones de danger du Merapi (KRB I, II et III) en créant un programme spécial pour les habitants du volcan. Ainsi, en 2011, le programme prévoyait de faire partir 60 familles en plus des 65 familles du programme régulier et en 2012, 75 familles pour le Merapi et 45 familles pour le programme régulier (Tab. 10).

Chaque bureau de transmigration est en charge de la sélection des trans migrants prioritaires, des lieux de transmigration et du bon déroulement du déplacement des villageois. Pour cela, à Sleman, quatre personnes travaillent à temps plein. La sélection des trans migrants pour l'année en cours se fait selon différents critères. Les familles inscrites habitant dans les zones de danger (KRB II et III) selon la carte établie par le BPPTK sont les premières à être envoyées vers d'autres îles ; elles sont suivies par les familles « pauvres » selon une liste de critères sociaux établis par le Bureau des Affaires Sociales ; viennent ensuite les familles ayant perdu leurs emplois à la suite de la fermeture ou la faillite de leur entreprise ; enfin par ordre d'inscription sur la liste des volontaires pour suivre le programme.

Année	Objectif du programme (nombre de familles)		Réalisé		%
	Régulier	Merapi	Familles	Personnes	
2005	60		49	161	82
2006	60		43	153	72
2007	60		46	120	77
2008	70		58	134	83
2009	70		54	197	77
2010	65		45	158	69
2011	65	60	70	235	56
2012	45	75			

Tableau 10 : Objectifs et envois réels de trans migrants du *kabupaten* Sleman entre 2005 et 2012.

Les lieux de transmigration sont proposés par les *kabupaten* des îles voisines (Sumatra, Bornéo et Sulawesi). Les employés du bureau de transmigration du *kabupaten* de

départ font un repérage de la zone de la future unité résidentielle de transmigration, puis un *M.O.U.* (une lettre d'intention) est signée par les *bupati* des *kabupaten* d'arrivée et de départ.

La dernière phase consiste à vérifier que les termes du *M.O.U.* sont bien respectés, que les maisons sont bien construites à l'endroit convenu et que tout est prêt pour recevoir les familles.

Au 1^{er} janvier 2011, à Sleman, 435 familles (soit 1618 personnes) étaient inscrites sur liste d'attente pour participer au programme de transmigration. Durant l'année, 157 nouvelles familles se sont inscrites pour transmigrer. En 2011, l'objectif fixé par le bureau de transmigration était de faire partir 125 familles vers les îles de : Sumatra (10 familles), Riau (20 familles), Bornéo (65 familles) et Sulawesi (30 familles).

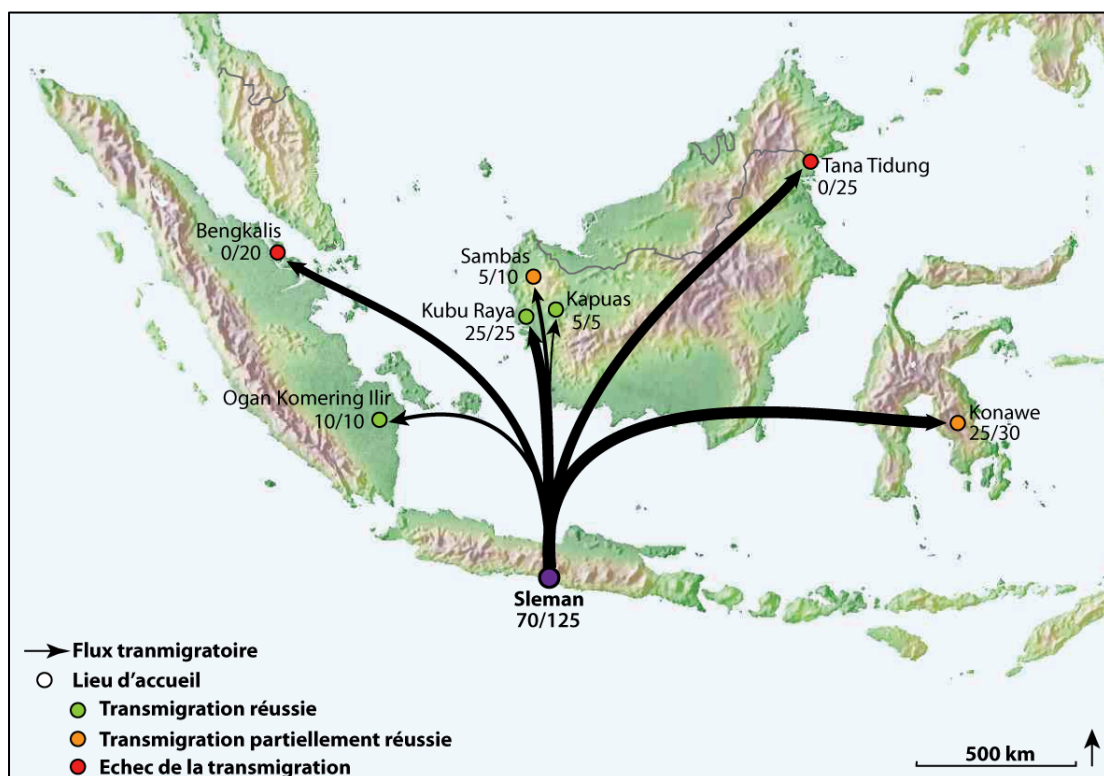


Figure 77. Programme de transmigration pour l'année 2011 du *kabupaten* Sleman.

Pour chaque unité de transmigration est précisé le nombre de familles ayant effectué la transmigration en 2011 et le nombre de familles initialement prévues pour cette même année au départ de Sleman.

Au cours de l'année 2011, le bureau de la transmigration de Sleman a rencontré de nombreux problèmes avec ses partenaires des îles voisines (Fig. 77). Avant d'envoyer les transmigrants vers leur nouveau lieu de résidence, les employés du bureau ont effectué une

mission de contrôle pour s'assurer que les termes du *M.O.U.* étaient respectés par les lieux d'accueil et c'est là que des problèmes apparaissent :

- À Bengkalis, Riau, le programme prévoyait d'envoyer 20 familles de transmigrants mais lors du contrôle des agents du bureau de transmigration, leur départ fut annulé. Les agents se s'étaient rendus compte que le gouvernement local n'avait pas respecté le *M.O.U.* : le lieu d'accueil avait été changé et installé en bord de mer alors que les transmigrants étaient des agriculteurs travaillant sur un volcan ; de plus, le terrain comportant la maison avait été réduit, passant de 0,25 hectares à 0,05 hectares et le terrain forêt/jardin initialement de 1,75 hectares était passé à 1 hectare.
- À Sebunga, Kalimantan Barat, le terrain forêt/jardin initialement de 1,75 hectares était réduit à 1 hectare. De plus, ce terrain n'était pas situé à l'emplacement prévu mais sur la frontière entre l'Indonésie et la Malaisie, lieu de tensions entre les deux pays qui essayent, l'un et l'autre, de récupérer le plus de terrain possible dans les forêts.
- À Konawe Utara, Sud-Est Sulawesi, le nouveau *bupati* récemment élu, n'ayant pas signé lui-même le *M.O.U.*, a refusé de recevoir les transmigrants avant d'établir un accord avec le *bupati* de Sleman.
- À Tana Tidung, Kalimantan Est, la construction des maisons pour les transmigrants n'était pas encore achevée.

Pour toutes ces raisons, 55 familles sur 125, soit 56 % de l'objectif prévu, n'ont pas pu partir en 2011 mais ont transmigré l'année suivante (Tab. 10). Entre 2005 et 2011, le programme de transmigration a permis de faire partir 365 familles de Sleman vers d'autres îles indonésiennes sur les 510 prévues par le bureau de transmigration ; en moyenne 72% seulement des objectifs ont été remplis.

Les difficultés de gestion issues des administrations accueillant les transmigrants constituent le problème majeur du programme. Entre 2005 et 2011, le bureau de Sleman n'a pas recensé beaucoup de retours de transmigrants vers leur lieu d'origine. En 2004, sept familles ayant transmigré dans la province de Sulawesi Centre ont demandé à revenir à Java après des conflits locaux dans la région mais six mois après leur retour, ils sont repartis vers un autre lieu de transmigration. En 2009, une famille ayant transmigré dans la province de Kalimantan Sud a souhaité changer de lieu et a été déplacée l'année suivante. Le bureau de transmigration reconnaît qu'il est difficile de recenser les familles de transmigrants ayant quitté le programme car ces derniers n'en informent pas le bureau de transmigration. Par

conséquent, il n'existe pas de liste des participants au programme qui seraient rentrés chez eux.

Le directeur du bureau de Sleman estime qu'il n'y a pas de lien direct entre le nombre d'inscrits au programme chaque année et les éruptions du Merapi et que le succès du programme repose d'abord sur la « publicité » qui en est faite par les personnes ayant transmigré auprès de leurs familles restées à Java ou auprès de leurs amis.

2.4. Un programme qui suscite des difficultés

Pour les villageois, la transmigration est très difficile. D'une part, les Javanais, très attachés à leurs terres fertiles, sont habitués à vivre au sein d'une communauté très vivante marquée par les traditions javanaise et musulmane. La transmigration fonctionne plus facilement lorsqu'un groupe de villageois d'un même *dusun* est déplacé. C'est pourquoi, l'idéal serait de déplacer de plus grands groupes, comme un village entier sinistré par une éruption du Merapi, afin de faire perdurer sa communauté. Mais cela s'avère difficile voire impossible à réaliser tant que des quotas sont fixés au niveau national.



Figure 78. Unité de transmigration à la veille de son inauguration, Jambi, Sumatra Sud.

Cliché : Bureau de transmigration de Yogyakarta, 2011.

La transmigration est particulièrement difficile à Kalimantan car le gouvernement crée des villages *ex nihilo* dans des zones déboisées, au milieu de la forêt et donne des terrains très peu fertiles aux habitants (Fig. 78). De plus, les villages sont souvent loin des bâtiments administratifs et des écoles, parfois jusqu'à une heure de route. À Sulawesi et en Papouasie, s'ajoutent à ces problèmes des conflits religieux : les Javanais et les Madurais sont majoritairement musulmans alors que sur les autres îles, la majorité de la population est chrétienne. C'est pourquoi la majorité des inscrits choisissent de partir pour les îles de Kalimantan et de Sumatra, plus islamisées au détriment de Sulawesi, île majoritairement chrétienne où les conflits entre musulmans et chrétiens sont récurrents.

Malgré ces problèmes, la transmigration, qui est un programme fondé sur le volontariat, connaît un grand succès en raison des avantages qu'il offre aux transmigrants, en particulier aux populations qui ont tout perdu après une catastrophe naturelle.

2.5. Mais très rentable pour le gouvernement Indonésien



Figure 79. Forêt de palmiers sur des terrains de transmigrants pour la production d'huile de palme, région Sud Sumatra.

Cliché : Bureau de transmigration de la province de Yogyakarta, 2011)

Du temps de la colonisation, les Hollandais déboisaient les forêts pour y cultiver des épices, du café et du cacao. Sous le régime de Suharto, la transmigration a permis d'exploiter les matières premières du pays. Après l'ère Suharto et l'ouverture du pays aux entreprises étrangères, les exploitations ont changé. Les grands groupes internationaux du pneu

(Goodyear, Michelin, Dunlop,...) se sont implantés en Indonésie et ont développé des grandes exploitations de caoutchouc en négociant de gros contrats avec les chefs de coopératives de transmigrations et les préfets. En 2008, l'Indonésie était encore le 2nd producteur mondial de caoutchouc naturel (Banque mondiale, 2009). Au début des années 1990, l'Indonésie commence sa course avec la Malaisie pour devenir le premier producteur mondial d'huile de palme. Petit à petit, les nouvelles exploitations des trans migrants alors focalisées sur l'exploitation du caoutchouc entreprennent la culture d'huile de palme (Agropolis Museum, 2004). Les grands groupes du secteur utilisent tous les moyens – jusqu'à la corruption – pour faire leur promotion à tous les niveaux du gouvernement et chez les chefs d'unités de transmigrations. Aujourd'hui, l'Indonésie est le second producteur mondial d'huile de palme et 90% des nouveaux trans migrants vont désormais travailler pour cette culture (Fig. 79).

La transmigration est donc un programme très complexe limité par les politiques et leurs partenaires. L'image publicitaire qui propose aux villageois des zones densément peuplées de migrer vers un eldorado tourne souvent au désenchantement pour les trans migrants mais elle peut être un outil très intéressant pour sécuriser des zones à risques où les populations sont très vulnérables.

Ce chapitre montre que les limites pour sécuriser des zones à risques proviennent avant tout du gouvernement Indonésien qui n'a pas de réelle volonté pour aider les villageois. L'exemple des disparités de fermeté qui interdit une zone à la reconstruction pour les villages de Kinahrejo et celui de Kalitengah Lor montre qu'un village connu et médiatisé est soumis à une réglementation stricte alors que le second, inconnu est lui encouragé à être reconstruit. La solution de reconstruction place les habitants de Kalitengah Lor en première ligne pour une prochaine éruption du Merapi et ceux de Kinahrejo, même s'ils ont construit leurs nouvelles maisons plus bas sur le volcan, elle restent dans le périmètre KRB II, le premier évacué en cas d'éruption et potentiellement exposé aux écoulements pyroclastiques. L'attachement à leurs terres des villageois, le poids de la tradition et à leur communauté font que la relocalisation serait la meilleure solution pour les habitants du Merapi. Cependant, la surpopulation de l'île de Java rend cette solution impossible pour reloger les 200 000 personnes des zones KRB II et III. Dans la Province de Yogyakarta, le Sultan et

Gouverneur possède de nombreuses terres et pourrait décider d'en céder une partie aux populations les plus exposées aux risques. Mais cela nécessiterait un accompagnement des villageois pour leur permettre de développer une nouvelle activité économique, et aurait un coût important pour le gouvernement de la province.

La solution plébiscitée par le gouvernement Indonésien est donc la transmigration. Celle-ci leur permet de signer de gros contrats avec des entreprises ainsi que de faire migrer les villageois des zones surpeuplées et à risque. Malgré les points négatifs de la transmigration, grand nombre de villageois sont séduits par le programme et plusieurs milliers de Javanais sont sur liste d'attente pour migrer. Le gouvernement Indonésien pourrait profiter de cet engouement et développer le programme en déplaçant des populations d'une même région vers des unités de transmigrations plus accueillantes, avec des infrastructures de meilleure qualité (routes, maisons, écoles, commerces,...). Il est également important que le bien des trans migrants soit au cœur du programme et non uniquement les utiliser comme main d'œuvre ou pions de colonisation.

TROISIÈME PARTIE :

**Les impacts socio-économiques de l'éruption :
des flancs du volcan jusqu'à l'étranger**



INTRODUCTION

L'éruption du Merapi dura plus de cinq semaines mais les conséquences socio-économiques eurent des répercussions beaucoup plus longues. Les deux éruptions principales du volcan eurent lieu à 10 jours d'intervalle et touchèrent une zone très localisée (chapitre IV), cependant, les impacts générés par les éruptions eurent des conséquences à plusieurs échelles. Les cendres émises lors de l'éruption perturbèrent le trafic aérien pendant plusieurs semaines et générèrent de nombreuses annulations de vols internationaux. Localement, les chutes de cendre eurent pour conséquence la fermeture de l'aéroport de Yogyakarta, qui provoqua de nombreuses annulations de vols et la suspension de vente de tickets durant plusieurs mois. Le blocage du trafic aérien empêcha la venue des touristes et d'hommes d'affaires en ville, ce qui créa une réaction en chaîne de perturbations sur les activités économiques et sur le tourisme.

L'économie des villageois du Merapi a subi de lourdes pertes dues aux écoulements pyroclastiques. Les activités économiques dominantes de la région étant l'agriculture et l'élevage, la longue période d'évacuation, la surface des terres et cultures dévastées ainsi que le bétail tué ont ruiné un grand nombre de familles. Dans ces mêmes régions, plusieurs centaines de maisons furent détruites, laissant des milliers de personnes sans logement.

Cette partie de la thèse propose une étude des impacts socio-économiques causés par l'éruption du Merapi de 2010. Le premier chapitre de cette partie abordera les conséquences sur les transports, en insistant sur les perturbations du trafic aérien à plusieurs échelles. La thèse proposera une estimation des coûts liés à l'éruption ainsi que les conséquences portées sur d'autres secteurs. Le second chapitre étudiera les autres principaux impacts sociaux-économiques de l'éruption sur les flancs du Merapi et dans les régions voisines.

Chapitre V : Les perturbations du trafic aérien

Comme cela a été présenté précédemment, l'éruption du Merapi de 2010 a été exceptionnelle à plusieurs niveaux (intensité de l'éruption, destructions, morts, ...) et pour la première fois, elle a créé des perturbations majeures pour le trafic aérien à Yogyakarta, allant jusqu'à la fermeture de l'aéroport. Certaines compagnies ont suspendu leurs vols, d'autres se sont adaptées à la crise en reportant leurs vols au départ d'autres aéroports, et d'autres enfin ont continué à voler malgré les risques encourus.

L'évolution des perturbations aériennes, l'impact de l'activité volcanique sur le nombre d'annulations de vols, et les adaptations entre les aéroports ont été successivement étudiés. Cette étude permet de comprendre les impacts d'une éruption majeure du Merapi sur le trafic aérien, des prémices de l'éruption jusqu'aux derniers troubles.

Dans un premier temps, ce chapitre présentera un résumé des recherches déjà effectuées sur les perturbations causées par des éruptions volcaniques sur le trafic aérien. Il s'en suivra une description des réseaux de transports présents en périphérie du Merapi et sur l'île de Java, puis comment ces réseaux ont été perturbés lors de la crise et comment les dirigeants y ont fait face. Enfin la troisième partie permettra de comparer les conséquences de l'éruption et les mesures prises lors de celle-ci avec d'autres crises qui ont eu lieu ailleurs sur la planète.

1. Les éruptions volcaniques, sérieuses menaces pour l'aviation

En avril 2010, l'éruption du volcan Islandais Eyjafjöll confirme que les cendres volcaniques sont l'aléa qui provoque des perturbations à très grande échelle. Elle commence le 20 mars 2010 et s'intensifie le 14 avril, le panache atteint alors une altitude de 11 km (*Icelandic Meteorological Office*). Le panache atteint l'Europe continentale le 15 avril et perturbe le trafic aérien jusqu'au 20 avril. L'association Internationale du Transport Aérien (IATA) estime la perte pour les compagnies dues aux annulations de vols à 1,7 milliard de dollars (1,3 milliards d'euros, BBC News, 21 avril 2010), 107 000 vols annulés et 10 millions de passagers gênés (Science 2.0, 27 mai 2011). Ces perturbations sur les transports aériens en

Europe ont eu des conséquences sur d'autres secteurs : logistique, pharmaceutiques, politiques, culturels, etc. cependant, aucune victime n'a été à déplorer.

La densification du trafic aérien a tendance à mettre en évidence les vulnérabilités de ce mode de transport face aux aléas naturels. En effet, les probabilités d'accidents ont été de paire avec l'essor du trafic aérien mondial. Le secteur de l'aviation est doublement vulnérable aux risques volcaniques.

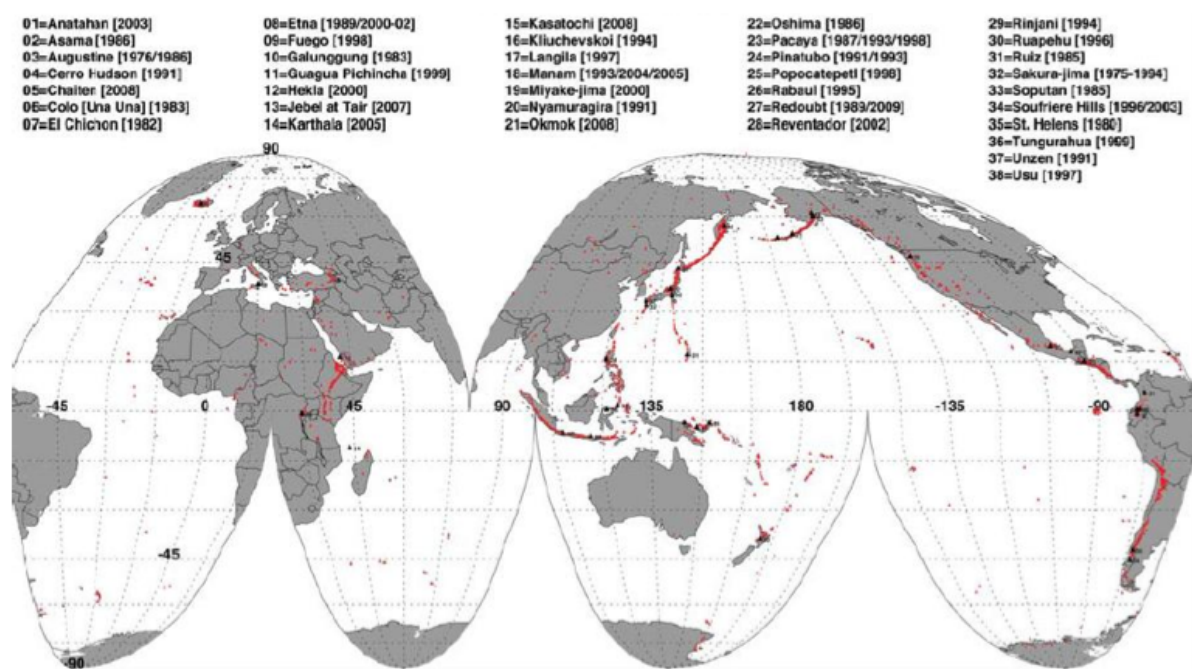


Figure 80. Répartition des volcans actifs durant l'Holocène (triangles rouges) et des volcans ayant causé des incidents sur le trafic aérien. Source : Guffanti et al. (2004)

Les aéroports eux-mêmes sont vulnérables : entre 1944 et 2006, on a dénombré 171 incidents liés à des retombées de cendres volcaniques sur le tarmac d'aéroports de 28 pays différents. Depuis 1980, en moyenne cinq aéroports par an ont été touchés, ce qui indique que de tels incidents ne sont pas rares à l'échelle mondiale (Guffanti et al., 2009). La texture des cendres volcaniques étant très fine, ces dernières sont aisément remobilisées par le vent, elles sont envahissantes et pénètrent dans les plus petites ouvertures des équipements tel que les systèmes d'aération. Ces cendres sont conductrices et peuvent transporter une charge électrique jusqu'à deux jours après leur émission et peuvent créer un court-circuit sur tout système électrique non hermétiquement protégé. Elles peuvent aussi menacer d'effondrement les bâtiments et causer des dommages aux avions en stationnement. En

Europe, l'accumulation sur le tarmac de quelques millimètres de cendres (environ 1 kg/m²) est suffisante pour fermer un aéroport (Folch et Sulpizio, 2010). A moindre mesure, les aéroports peuvent également être affectés par d'autres produits de l'éruption volcanique, par exemple la lave, les coulées pyroclastiques, ou les lahars comme ce fut le cas lors de l'éruption du Mont Pinatubo aux Philippines en 1991 (Casadevall et al., 1996).

Outre les aéroports, les avions sont particulièrement vulnérables aux panaches de cendres volcaniques, qui représentent un réel danger pour la sécurité aérienne; depuis 1973, plus de 100 rencontres avec des panaches volcaniques ont eu lieu (Guffanti et al., 2004), principalement en Indonésie. Ces cendres sont en réalité une roche finement pulvérisé, allant de 0,1 mm (la flottabilité dans l'atmosphère est de quelques heures) à 5 µm (quelques semaines). Cette flottabilité est encore plus forte si les particules atteignent la stratosphère (plus de 8 000 m d'altitude), où les *jets-streams* peuvent disperser les particules les plus fines et leur permettre de voyager autour de la Terre pendant plusieurs années. Ces particules sont très dures - l'indice de dureté de la cendre atteint 7 sur une échelle de dureté de 10 (échelle de Mohs) -, ce qui induit un effet abrasif sur les appareils. Il contient également de l'acide sulfurique résultant de l'éruption qui est piégé dans les aspérités des particules et qui peut provoquer la corrosion chimique des appareils.

En Indonésie, plusieurs incidents aériens dus aux cendres volcaniques ont eu lieu, dont le plus grave a concerné un Boeing 747 de la compagnie British Airways. Alors que le vol BA009 effectuait la liaison entre Kuala Lumpur, Malaisie et Perth, Australie, les quatre moteurs de l'avion ont été arrêtés tour à tour après son passage dans le panache de cendres du volcan indonésien Galunggung, situé sur l'île de Java, le 24 Juin 1982. Après plané durant plus de 20 minutes et chuté de plusieurs kilomètres, les moteurs se sont remis en marche après plusieurs dizaines de tentatives de rallumage et les pilotes ont pu se poser en urgence à l'aéroport de Jakarta (Miller and Casadevall, 2000). Les réacteurs de l'avion étaient sévèrement endommagés, le fuselage en partie à nu, la peinture ayant été rayée par les cendres et les vitres du cockpit abrasées étaient quasiment opaques.

Cet exemple montre qu'un avion traversant un panache de cendres et de fines particules à une vitesse importante subit des dégâts très lourds et en conséquence met en jeu la vie des passagers.

L'autre danger de ces cendres réside dans sa température de fusion, autour de 1 100 °C, alors que les moteurs d'avions de ligne en vitesse de croisière peuvent atteindre des températures de l'ordre de 1 400 °C. Une fois ingérés par la turbine, les cendres vont fondre

sur les parties chaudes du moteur l'amenant à se bloquer et à le faire caler (Casadevall et al., 1996). L'ampleur des dommages dépend du temps passé dans le nuage de cendres. Des concentrations aussi faibles que 10^{-7} kg/m³ peuvent causer des dégâts substantiels à des avions (Witham et al, 2007.). Les panaches de cendres génèrent également des décharges électrostatiques, qui brouillent les transmissions radio entre l'avion et le contrôle du trafic aérien (ATC). Les nuages de cendres sont indétectables par les radars lorsqu'ils sont dispersés dans l'atmosphère, à cause de la taille des particules très légères et minces, ce qui rend le travail des pilotes très difficile.

Pour faire face à tous ces risques, le *Volcanic Ash Advisory Center* (centre de conseil sur les cendres volcaniques) a été créé en 1995 afin de protéger l'aviation commerciale contre les risques liés aux cendres volcaniques (Kite-Powell, 2001). Un réseau mondial de neuf centres VAAC (Fig. 81) est chargé de surveiller les panaches volcaniques (par satellite, observatoires volcanologique, observations de pilotes) et de prévoir les mouvements des nuages de cendres dans sa région, il émet également des bulletins d'alerte pour les pilotes et informe les pilotes.

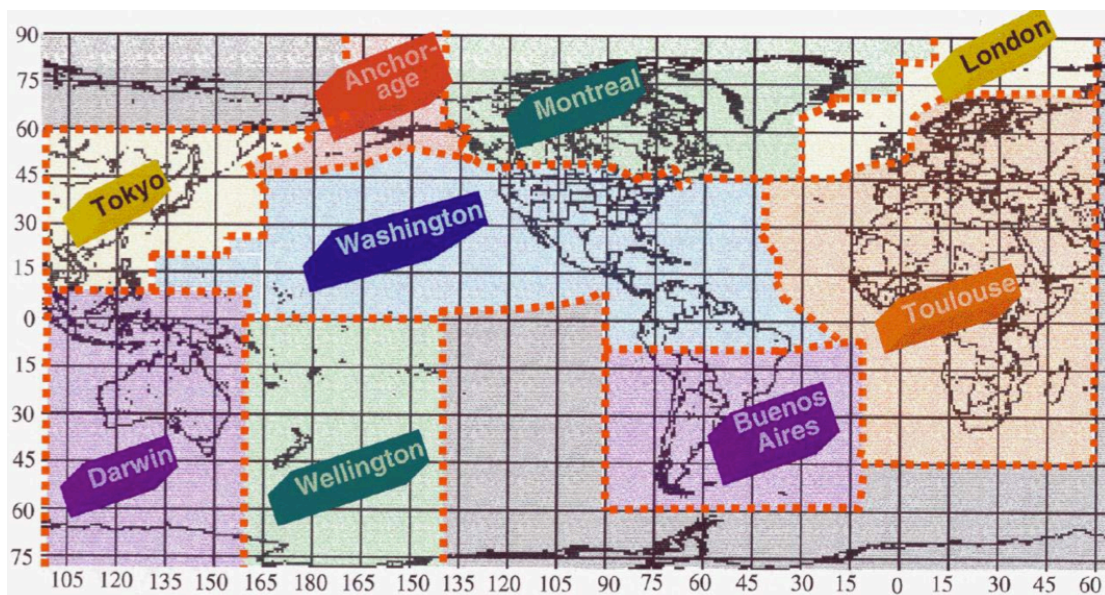


Figure 81. Zones de couverture des neuf centres VAAC.

Source : National Oceanic and Atmospheric Administration

Le transport aérien est donc très vulnérable aux cendres volcaniques. Au cours de la crise provoquée par l'éruption du volcan islandais Eyjafjöll en avril 2010, la majorité des aéroports européens ont été fermés et les voyageurs ont dû se reporter sur d'autres modes de

transport, mais des mesures ont été très légères face à l'ampleur de la crise. En Indonésie, les aéroports sont rarement fermés en cas d'éruption volcanique, à l'exception de ceux de grande intensité, comme ce fut le cas lors de l'éruption du volcan Merapi 2010.

2. Les transports inter-régionaux autour du Merapi

La ville de Yogyakarta se trouve à mi-chemin entre la capitale, Jakarta, peuplée de 20 millions d'habitants et Surabaya, plus de trois millions d'habitants, seconde ville d'Indonésie et premier port de l'archipel. Yogyakarta est la principale ville universitaire indonésienne avec une vingtaine d'universités et plus de 300 000 étudiants. La ville est également le centre culturel de Java, proche des sites de Borobudur et Prambanan, tous deux classés au patrimoine mondial de l'UNESCO. Touristes et hommes d'affaires apprécient les séjours à Yogyakarta car la ville est réputée pour être bon marché. En raison d'une population en forte croissance, le développement économique de l'île de Java a conduit à une importante augmentation du transport aérien durant les deux dernières décennies.

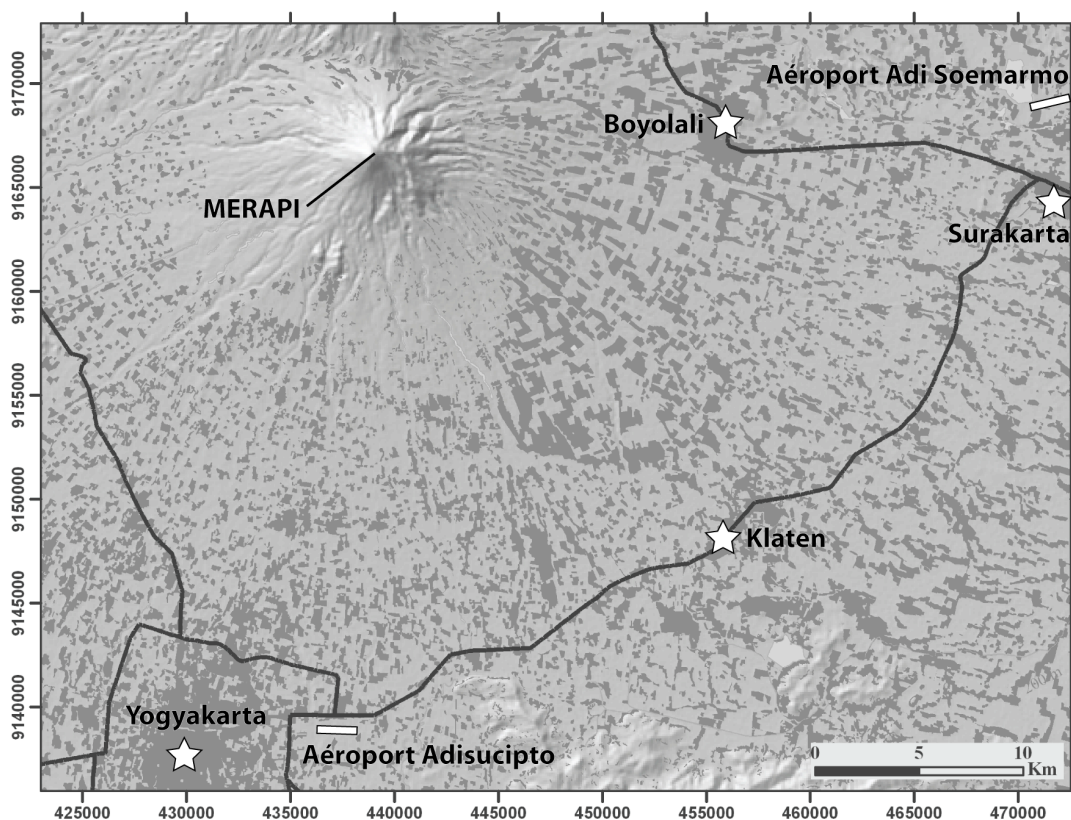


Figure 82. Localisation des aéroports de Yogyakarta et de Surakarta autour du volcan Merapi.

La situation géographique de Yogyakarta au centre de l'île de Java et entre les deux principales villes du pays a permis à la ville d'être bien desservie par les différents réseaux de transports. L'aéroport International Adisucipto est situé à 27 km au sud du sommet du Merapi (Fig. 82). C'est un aéroport semi-militaire, qui commença à être utilisé comme terrain d'atterrissage et de décollage avant et pendant la Seconde Guerre mondiale. Il est considéré comme l'un des aéroports les plus dangereux d'Indonésie du fait de sa proximité au volcan et surtout de sa courte piste. En 2007, un avion de la compagnie aérienne Garuda, réputée pour être la meilleure compagnie aérienne indonésienne, est sorti de la piste lors de son atterrissage, causant la mort de 22 passagers et d'une dizaine de blessés graves. Malgré les risques dont témoigne cet accident, une centaine de vols décollent et atterrissent chaque jour (Fig. 83).

Début 2010, huit compagnies opéraient des vols domestiques : Garuda Indonesia, Lion Air, Wings Air, Mandala Airline, Sriwijaya Air, Batavia Air, Merpati Nusantara Airline et Express Air. Au niveau international, l'aéroport Adisucipto assure des vols à destination de Singapour et de Kuala Lumpur, opérés par les compagnies Air Asia et Malaysia Airline. En moyenne, 11 500 passagers transitent par l'aéroport de Yogyakarta chaque jour.

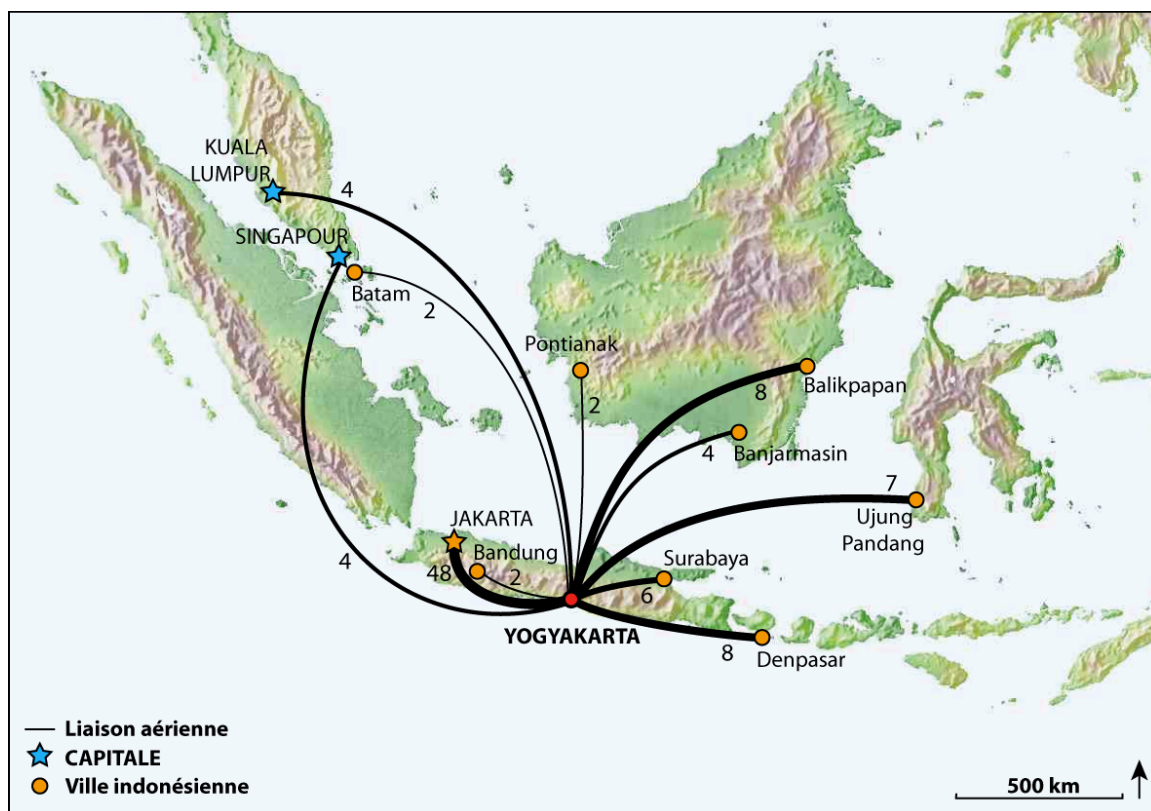


Figure 83. Liaisons aériennes quotidiennes et nombre de vols au départ et à destination de l'aéroport international Adisucipto de Yogyakarta. Une liaison correspond à un trajet aller.

Surakarta, plus communément appelé Solo est une ville de la province de Java Centre, peuplée de 520 000 habitants (BPS, 2009). C'est l'ancienne capitale du royaume de Surakarta. Les villes de Yogyakarta et de Surakarta sont situées à 60 km l'une de l'autre. L'aéroport International Adi Soemarmo de Surakarta est situé à 34 km à l'est du Merapi. Aéroport militaire depuis l'indépendance de l'Indonésie, il doit son développement à l'ancien président Suharto, qui a dirigé le pays de manière autoritaire entre 1967 et 1998. Originaire de Surakarta, il avait besoin d'un aéroport pour faire atterrir l'avion présidentiel lors de ses visites privées et a fait construire un petit terminal ainsi qu'une piste permettant à des avions de ligne de petite taille de se poser. Au milieu des années 2000, cet aéroport situé au centre de la province de Java Centre a été choisi pour être le point de départ du pèlerinage à La Mecque pour l'ensemble de la province. En mars 2009, un nouveau terminal a été inauguré dans cette optique et la piste a été rallongée afin de pouvoir accueillir des avions gros porteurs de type A330 ou Boeing 747.

Les équipements et la piste sont plus importants que ceux de l'aéroport Adisucipto de Yogyakarta, cependant le nombre de vols quotidiens est largement inférieur. L'ensemble des vols domestiques est à destination de l'aéroport international Soekarno - Hatta de Jakarta et est opéré par quatre compagnies. Garuda Indonesia et Sriwijaya Air opèrent trois vols aller-retour chacun par jour, Lion Air et Batavia Air en opèrent deux. Au niveau international, l'aéroport dessert Singapour trois fois par semaine, ces vols sont aller-retour et opérés par la compagnie Silk Air. Enfin, la capitale de la Malaisie, Kuala Lumpur, est desservie quotidiennement par la compagnie Air Asia à raison d'un aller-retour par jour. En moyenne 2 800 passagers transitent quotidiennement par l'aéroport Adi Soemarmo. La position centrale de l'aéroport de Surakarta et ses équipements importants font qu'il est régulièrement utilisé comme aéroport de soutien pour les autres aéroports de la province en cas d'incident ou de catastrophe. En 2006, après le tremblement de terre du 27 mai dont l'épicentre se situait à Bantul, au Sud de Yogyakarta, l'aéroport Adisucipto n'a pas pu opérer ses vols en raison de dommages subis sur la piste et le terminal. Une partie des vols avait été reportée vers l'aéroport de Surakarta. En 2009, c'est une partie des vols de l'aéroport Ahmad Yani de Semarang qui furent reportés au départ et à l'arrivée de Surakarta, en raison d'inondations qui rendaient l'aéroport inopérable.

Concernant les autres moyens de transports, la ville de Yogyakarta est située sur l'axe ferroviaire reliant Jakarta à Surabaya, et passant par les villes historiques et universitaires de

Bandung et Surakarta. Les trains de classe affaire et première classe partent de la gare de Tugu, gare principale de Yogyakarta. Les trains de seconde classe partent eux de la gare de Lempuyangan, située sur le même axe, 2 km à l'Est de la première gare. Chaque jour 134 trains toutes classes confondues passent par Yogyakarta et transportent environ 15 200 passagers vers les autres villes de l'île.

L'éruption de 2010 du Merapi a eu des effets à répercussion sur les secteurs géographiques et économiques indonésiens. La colonne éruptive a dépassé 17 km de haut au-dessus du sommet, contenant une énorme quantité de cendres et de gaz expulsé dans l'atmosphère. Les cendres dispersées par le vent ont principalement touché la partie ouest du volcan, et perturbé le trafic aérien jusqu'à Jakarta. La province Spéciale de Yogyakarta n'avait jusqu'ici jamais souffert de perturbations du trafic aérien depuis l'ouverture de son aéroport. Pour la première fois en 2010, le conseil d'administration de l'aviation civile de l'Indonésie décida de fermer l'aéroport Adisucipto.

3. Les impacts de l'éruption sur les flux de transports javanais

L'éruption du Merapi en 2010 a fortement perturbé l'organisation des réseaux de transport aériens. Quatre périodes correspondant aux quatre niveaux d'intensité de perturbations liées à l'éruption ont été observées (Tab. 84 et Fig. 11) :

- La première phase correspond à un stade précoce de l'activité volcanique, aux premiers jours de l'éruption, entre le 12 et le 29 octobre. Des perturbations initiales sont enregistrées.
- La deuxième phase, du 30 octobre au 4 novembre marque une croissance de la crise, l'activité du volcan s'intensifie et le nombre de vols annulés s'accroît.
- La troisième phase concerne le stade paroxysmal de la crise, initiée par les énormes explosions du 5 novembre, conduisant à la fermeture de l'aéroport de Yogyakarta jusqu'au 20 novembre.
- La dernière phase commence le 20 novembre et se termine le 20 décembre. Elle correspond à la reprise et au retour à la normale de l'activité de l'aéroport Adisucipto.



Figure 84. Quatre niveaux d'intensité de perturbation liés à l'éruption du Merapi de 2010

Principales phases de la crise	Date	Nombre de vols annulés par compagnie									TOTAL
		Garuda	Lion Air / Wings Air	Mandala	Batavia	Air Asia	Sriwijaya	Malaysia Airlines	Merpati	Express Air	
1	12 oct 12 au 29 oct	8		8	2						18
2	30 oct au 4 nov	53	2	26	11	3		2	2		99
3	5 nov au 19 nov	352	416	192	192	128	64	14	96	32	1486
4	20 nov au 20 dec	271	179	191	185	0	2	4	23	5	860
TOTAL :											2463

Tableau 11. Niveaux d'intensité de perturbation et nombre de vols annulés à l'aéroport international de Yogyakarta.

3.1. Les prémices de la crise : du 12 au 29 octobre 2010

La première explosion mortelle de Merapi se produit le 26 Octobre. Le *blast* est suivi par sept coulées pyroclastiques le même jour, et 40 autres durant les trois jours suivants (Komorowski et al., 2013). Pendant cette période, le trafic aérien n'a pas été perturbé et la fréquentation dans les aéroports de la zone est restée constante. En ce premier jour d'éruption, à l'aéroport de Yogyakarta, la compagnie Garuda annule deux vols en provenance et à destination de Jakarta et Mandala fait de même pour deux de ses vols desservant Banjarmasin. Les autres compagnies aériennes ont continué à voler normalement. Le lendemain, par précaution, quelques perturbations sont enregistrées mais d'importance mineure (Fig. 85).

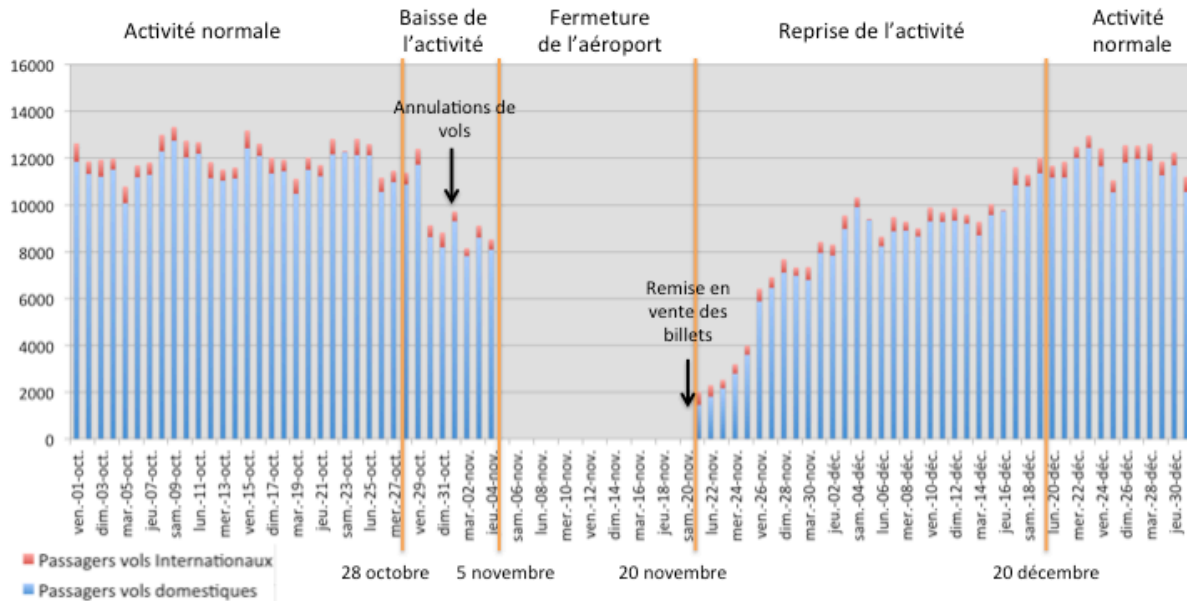


Figure 85. Activité de l'aéroport Adisucipto de Yogyakarta durant l'éruption du Merapi de 2010

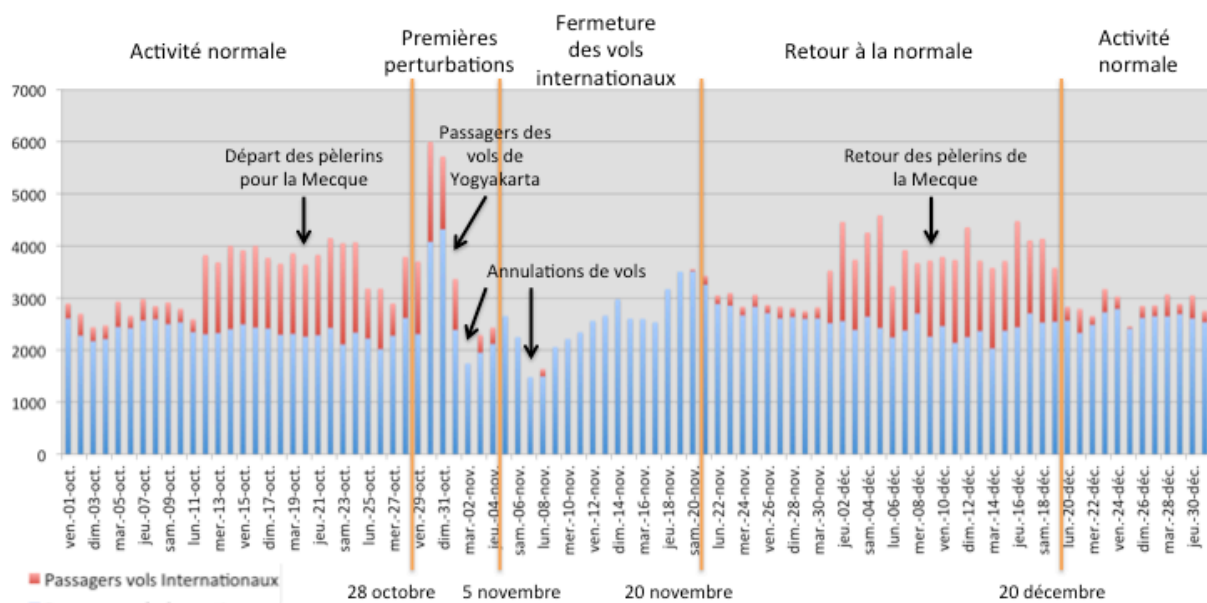


Figure 86. Activité de l'aéroport Adi Soemarmo de Surakarta durant l'éruption du Merapi de 2010

Le 27 octobre, la compagnie de chemin de fer PT Kereta Api Indonésie, alertée par les rapports du bureau de volcanologie qui prédit une éruption majeure, décide d'intervenir pour anticiper une évacuation massive des habitants vivant sur les pentes du volcan et à Yogyakarta. En temps normal, la configuration d'un train est de neuf voitures et un wagon-restaurant. Deux mesures sont prises. Premièrement, tous les trains sont rallongés de deux

wagons. Deuxièmement, le nombre de trains sur l'axe Surakarta - Jakarta (via Yogyakarta) est augmenté de trois trains première classe par jour ainsi que de sept trains classe affaire.



Figure 87. Train circulant sur l'axe Yogyakarta – Surakarta lors de la crise du Merapi.

Cliché : Yulay Spoorfans.

3.2. L'amplification de la crise : du 30 octobre au 4 novembre 2010

Le 30 octobre au petit matin, une partie de la ville de Yogyakarta est recouverte d'une couche de cendres de trois à cinq millimètres d'épaisseur. À 6h00, les premiers problèmes commencent et le directeur de l'aéroport international Adisucipto décide de suspendre les vols du matin en raison des cendres déposées sur la piste et sur les avions. Pendant ce temps, les motos, voitures et pousse-pousse grouillent en ville, comme un jour sans éruption. Quelques heures plus tard, le panache de cendres change de direction et ne survole plus l'aéroport (Fig. 88).

La pression exercée par les compagnies aériennes pour assurer les 100 vols prévus pour la journée poussent le directeur de l'aéroport à autoriser à nouveau les décollages et atterrissages. Après le nettoyage de la piste et des avions (Fig. 89), le trafic reprend à 11h, occasionnant quelques retards.

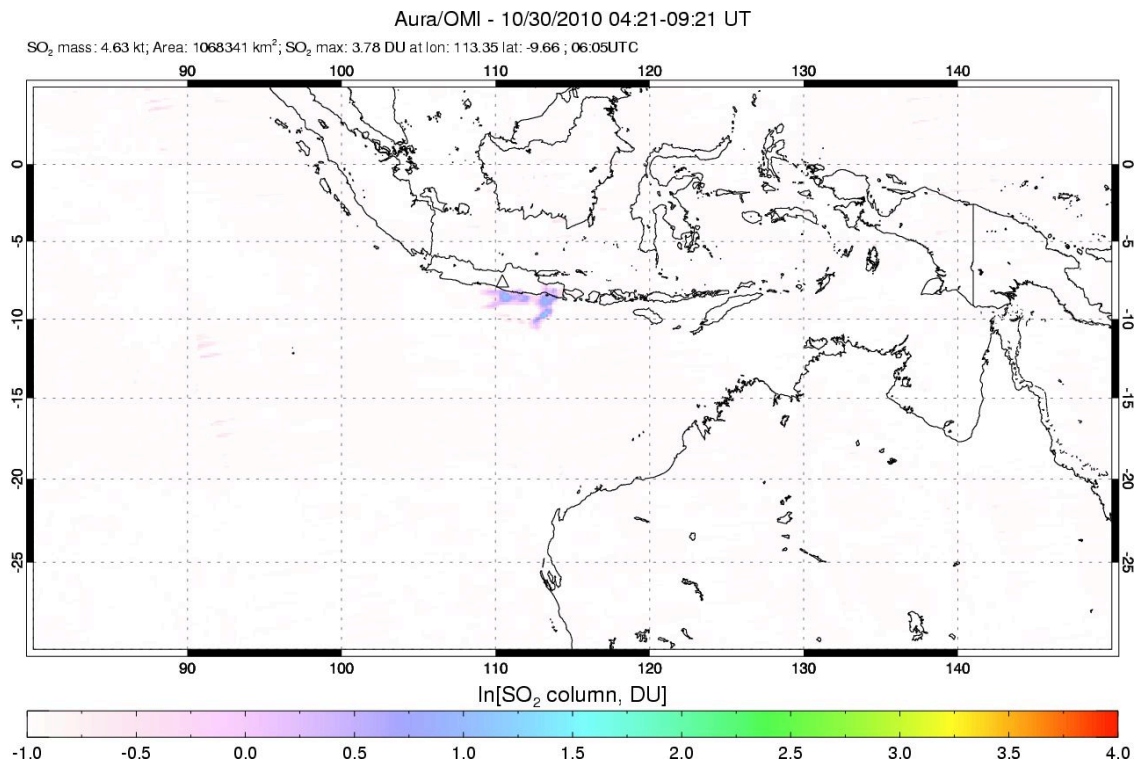


Figure 88. Panache de cendre émis par le Merapi au début de la crise, le 30 octobre 2010.

Source : NASA/KNVI/NIVR/FMI, transmise par Simon Carn et MIA VITA.



Figure 89. Nettoyage de la piste de l'aéroport Adisucipto de Yogyakarta, le 30 octobre 2010

Cliché : PT. Angasa Pura 1

Cependant, la compagnie aérienne Merpati Nusantara Airline juge l'aéroport de Surakarta plus sûr que celui de Yogyakarta et décide de changer le lieu de décollage de son

vol en direction d'Ujung Pandang (Makassar). Cette mesure concerne deux vols le 30, quatre vols le 31 octobre ainsi qu'un vol le 1^{er} novembre.

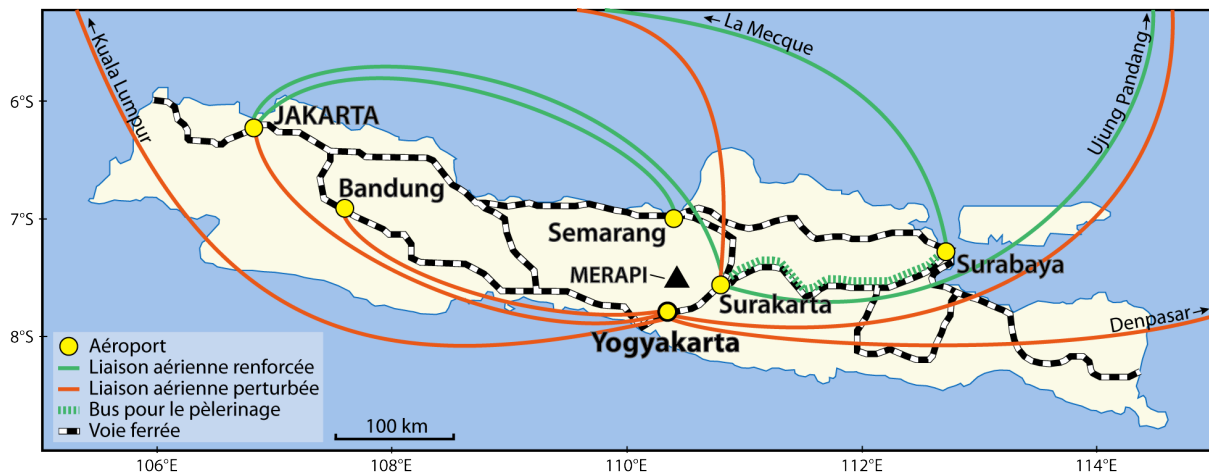


Figure 90. Perturbations du trafic aérien au début de l'éruption (du 30 octobre au 4 novembre)

Très rapidement, d'autres aéroports de Java sont perturbés par le nuage de cendres émis par le volcan, principalement ceux situés à l'Ouest du volcan. Dans la matinée du 1^{er} novembre, l'aéroport international de Surakarta suspend ses vols durant une heure, occasionnant quelques retards. Le même jour, Garuda Indonesia, qui effectue l'acheminement des pèlerins pour la Mecque, décide, par mesure de précaution en raison de l'activité du Merapi, de changer le lieu de décollage des pèlerins. Au lieu de partir de l'aéroport de Surakarta, ceux-ci sont acheminés par bus (8 à 10 bus pour un avion) vers l'aéroport international Juanda de Surabaya, non affecté par le nuage de cendres du Merapi qui est alors orienté vers le Sud-Ouest.

Le 2 novembre Garuda annule la moitié de ses vols en provenance et à destination de Jakarta ; Mandala en annule six, Batavia trois et Air Asia suspend son aller-retour desservant Kuala Lumpur. Le lendemain, Lion Air rejoint la liste des compagnies aériennes qui annulent des vols, mais seulement pour un de ses allers retours à destination de la capitale. Le 4 novembre, Malaysian Airline renonce à sa liaison quotidienne avec Kuala Lumpur.

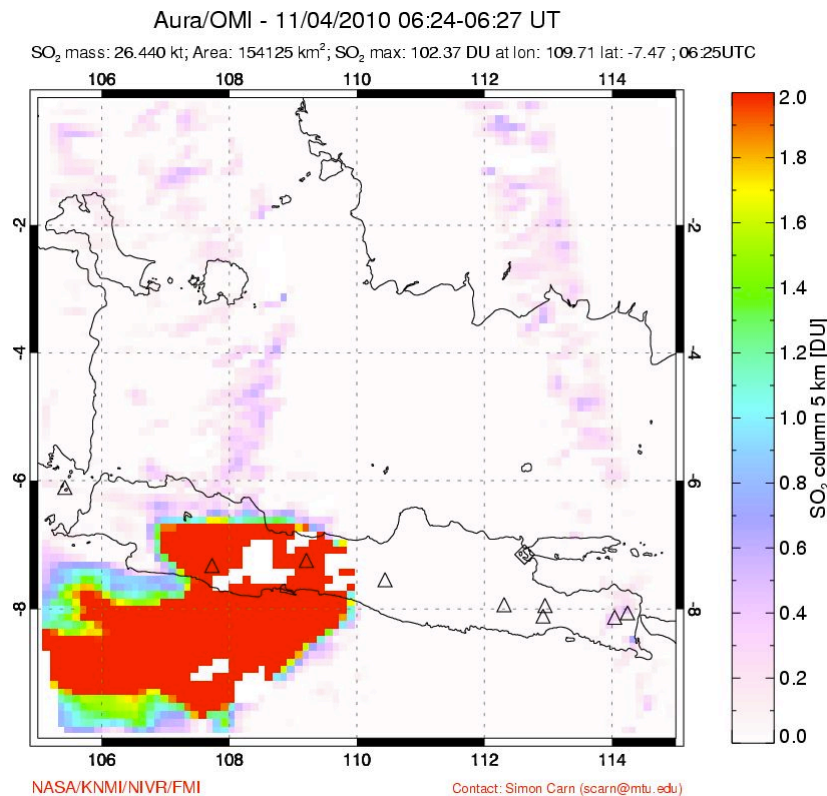


Figure 91. Le panache de cendres du Merapi orienté vers le Sud-ouest, le 4 novembre 2010.

Les couleurs représentent le taux de SO₂ par pixel de 5 kilomètres

Source : NASA/KNVI/NIVR/FMI, transmise par Simon Carn et MIA VITA.

3.3. L'apogée de la crise : du 5 novembre au 19 novembre 2010

Lors du stade paroxysmal de l'éruption, le 5 novembre, le panache de cendres atteint une hauteur de 8 000 mètres, la direction de l'aviation civile indonésienne décide alors de fermer l'aéroport de Yogyakarta et d'annuler ses 91 vols quotidiens. La compagnie aérienne Mandala, qui connaît des problèmes financiers depuis quelques mois, ne peut se permettre d'annuler tous ses vols entre Yogyakarta et Denpasar (Bali) d'une part, et entre Yogyakarta et Balikpapan (Bornéo) d'autre part. Elle transferts donc une partie de ses vols au départ de l'aéroport de Semarang situé à trois heures de route de Yogyakarta.

À l'aéroport de Surakarta, les compagnies aériennes Batavia Air, Air Asia, Sriwijaya Air, et Silk Air annulent la plupart de leurs vols tandis que Garuda Indonesia et Lion Air décident de maintenir la totalité de leurs vols sauf ceux à destination de la Mecque qui sont reportés au départ de l'aéroport de Surabaya (Fig. 90). Par conséquent 9 900 pèlerins doivent changer d'aéroport de départ. Tous les vols internationaux à destination et à partir de Surakarta sont suspendus jusqu'au 19 novembre.

présidentiel Air Force One se pose à Jakarta comme prévu le 9 novembre et le président américain et sa délégation réussissent à rencontrer leurs homologues indonésiens.

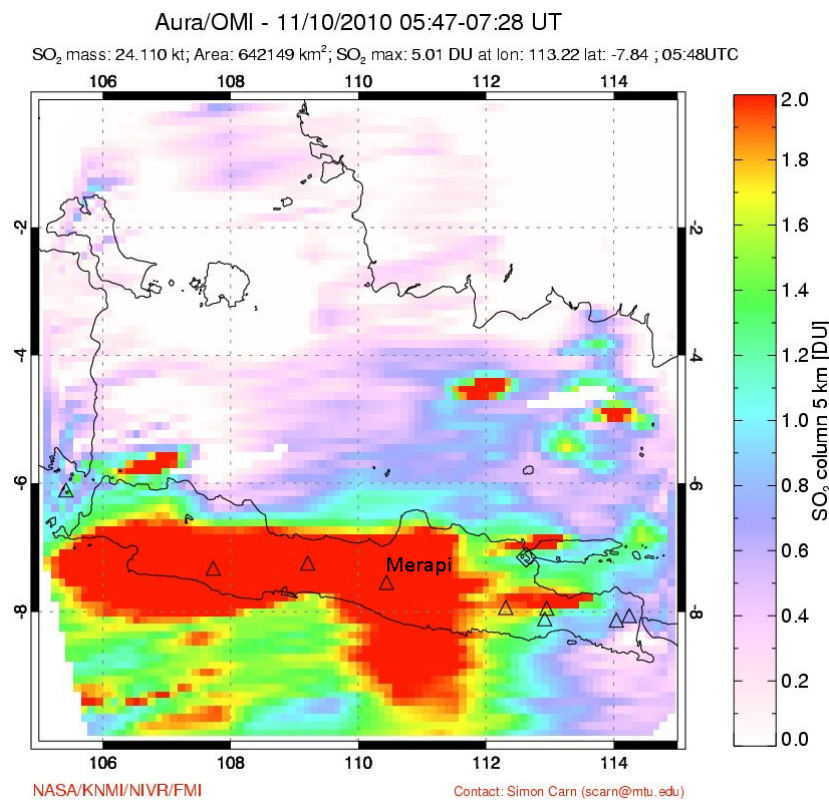


Figure 93. Le panache de cendres du Merapi orienté au Sud et à l'Ouest, le 10 novembre 2010.

Le graphique montre que le panache de cendres émis par le Merapi plus de 95% de l'île de Java.

Source : NASA/KNVI/NIVR/FMI, transmise par Simon Carn et MIA VITA.

Entre le 6 et le 30 novembre, la compagnie indonésienne des chemins de fer entreprend une action de solidarité envers les victimes du Merapi. Sur demande à la gare de Tugu, tous les habitants des villages situés dans les zones exposées aux risques volcaniques (KRB II et III, d'après la carte d'aléas du Merapi de 2006, Fig. 22), peuvent bénéficier de tickets de train gratuits pour la destination de leur choix, sur simple présentation de leur carte d'identité. Ainsi, 472 personnes évacuées quittent la ville durant cette période. On estime à environ un million de personnes le nombre de déplacés lors du stade paroxysmal de l'éruption de 2010 dont 400 000 dans les camps officiels (Mei et Lavigne, 2011 ; Mei et al., 2011). Le nombre d'évacués ayant profité de l'offre de la compagnie indonésienne des chemins de fer est donc très faible, seulement 1 % de la population officielle des camps de déplacés. On l'explique par le fait que les Javanais sont très sédentaires, attachés à leur communauté et à leur terre. En cas de crise, ils préfèrent rester groupés dans le cercle familial

élargi (dans la Province de Yogyakarta pour la plupart) ou dans leur communauté (généralement un *dusun*). En évacuant, les villageois du volcan préfèrent rester dans les camps de déplacés avec leurs proches et non loin de leurs terres et de leurs biens.

3.4. La reprise de l'activité : du 20 novembre au 20 décembre 2010

À la réouverture de l'aéroport de Yogyakarta, le 20 novembre, le trafic reprend lentement. Petit à petit, les différentes compagnies rouvrent leurs routes au départ et à destination de Yogyakarta. Le 20 novembre, Air Asia reprend tous ses vols internationaux et à destination de Jakarta, Garuda reprend six vols sur 12 à destination de Jakarta, et Sriwijaya reprend deux vols également à destination de la capitale. Lion Air et Express Air reprennent un seul vol le 23 novembre, Batavia Air et Mandala, le 29 novembre. Le retour à la normale de l'activité de l'aéroport a lieu le 21 décembre, lorsque chaque compagnie opère le même nombre de vols qu'en octobre 2010. Cette longue période de reprise s'explique par le fait que durant l'éruption, l'ensemble des compagnies aériennes a fermé sa vente de billets, ne sachant pas à quelle date l'aéroport allait rouvrir. Cette vente a repris le 20 novembre lorsque la décision de rouvrir l'aéroport a été prise. Petit à petit les avions ont redécollé, parfois avec seulement 40 passagers à bord.

Le même jour, la compagnie des chemins de fer rebascule sa configuration de trains en mode normal, soit 15 184 passagers en moyenne qui quittent quotidiennement Yogyakarta par ses deux gares.

À Surakarta à partir du 21 novembre, toutes les compagnies reprennent leurs vols normalement et les avions de pèlerins de la Mecque commencent à atterrir à l'aéroport à partir du 1^{er} décembre.

4. D'importantes conséquences socio-économiques

4.1. Le lien entre activité volcanique et perturbation du trafic aérien

Le nombre d'écoulements pyroclastiques est un des indicateurs du niveau d'activité volcanique (avec le nombre de séismes volcaniques, *guguran*, etc.) qui a été retenu pour être

comparé avec les annulations de vols qui eurent lieu à l'aéroport de Yogyakarta lors de l'éruption de 2010.

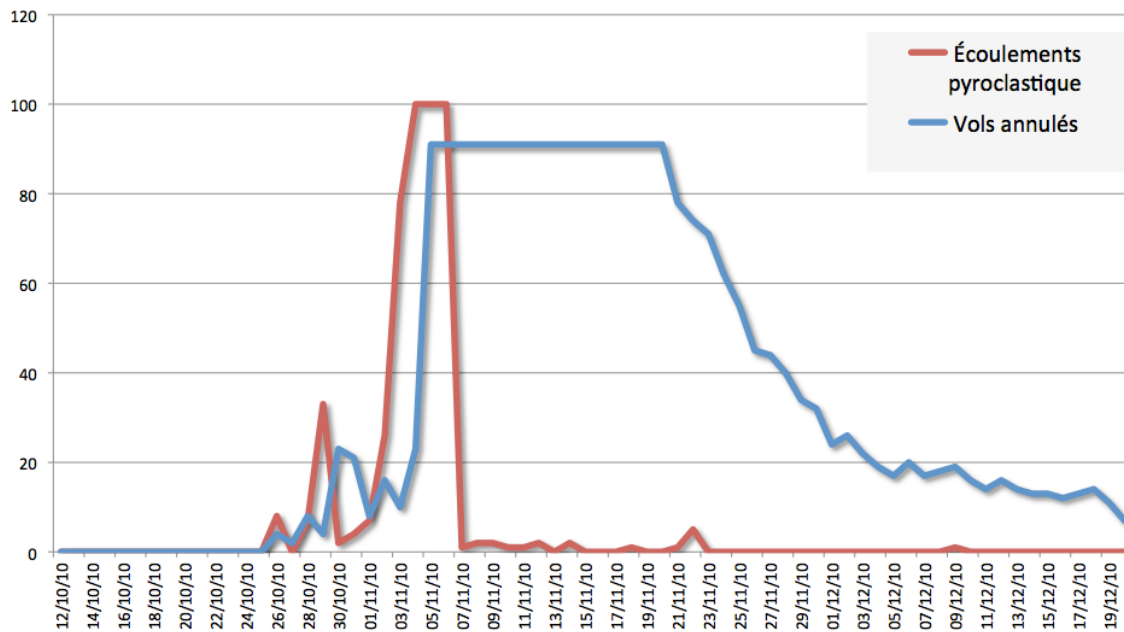


Figure 94. Chronologie comparative du nombre d'écoulements pyroclastiques du Merapi et des annulations de vols à l'aéroport de Yogyakarta.

Au début de la crise, le nombre de vols annulés à l'aéroport de Yogyakarta est en adéquation avec le nombre de coulées pyroclastiques enregistrées par le BPPTK (Fig. 94). Mais, durant le pic de l'activité volcanique durant cette première période, le 29 octobre, 33 coulées pyroclastiques ont été enregistrées, alors que seulement quatre vols ont été annulés. Le lendemain, 23 vols ont été annulés tandis que l'activité diminuait. On observe un décalage similaire au cours de la phase paroxysmale de l'éruption : le 3 novembre, 78 coulées pyroclastiques ont été enregistrées, le 4 novembre, plus de 100 (sismomètres saturés). Cependant, les annulations de vols n'ont eu lieu que le 5 novembre, lorsque l'aéroport ferme, deux jours après la forte hausse de l'activité du Merapi. La décision de fermer l'aéroport a pris du temps car les enjeux économiques sont très importants, l'éruption du 5 novembre tuant plus de 250 personnes fut un argument suffisant pour mettre un terme aux discussions. Après la phase paroxysmale de l'éruption, on n'observe plus de liens entre le nombre d'écoulements pyroclastiques et des annulations de vols car le principe de précaution est finalement appliqué mais les compagnies écoutent alors les recommandations des

volcanologues qui observent une poursuite de l'activité sismique et donc de l'éruption jusqu'au 20 novembre.

4.2. De lourdes pertes financières pour les compagnies aériennes

L'aéroport de Yogyakarta a fermé du 5 au 20 novembre 2010. Durant cette période, 1 350 vols ont été annulés et les compagnies aériennes ont dû rembourser les billets de l'ensemble des passagers. Sur la base des données sur la fréquentation depuis début octobre 2010, environ 195 000 passagers auraient dû arriver de l'aéroport de Yogyakarta au cours des 16 jours de sa fermeture. La crise a créé un déficit commercial qui a eu des répercussions pendant un mois après la réouverture de l'aéroport, temps nécessaire pour que les entreprises, les universitaires (étudiants et professeurs) et les touristes reviennent à Yogyakarta afin d'exercer leurs activités respectives. Entre le 20 novembre et le 21 décembre, environ 600 vols ont été annulés en raison de l'absence d'un nombre suffisant de réservations. La perte pour les compagnies aériennes au cours de cette période d'un mois est estimée à 118 000 billets.

Bien que cette crise volcanique ait perturbé l'activité de l'aéroport de Surakarta, elle n'a pas posé de problèmes majeurs, sauf pendant la première phase de l'éruption qui correspondait au départ des pèlerins à La Mecque. Garuda Indonesia a donc déplacé le lieu du départ à Surabaya afin que tous les voyageurs puissent partir à temps. Lorsque les premières cendres tombent sur Yogyakarta, la compagnie Merpati Nusantara décide de faire décoller ses vols au départ de Surakarta, ce qui a un effet bénéfique pour l'aéroport de cette dernière ville puisque 7 vols supplémentaires sont programmés à l'arrivée et au départ. Lors de ces trois journées, 585 passagers supplémentaires transitent par l'aéroport. Le 2 novembre, les premiers vols sont annulés à l'aéroport de Surakarta. Entre cette date et le 17 novembre, c'est le cas de la quasi-totalité des vols internationaux et de deux compagnies aériennes sur les quatre. Durant cette période, on estime un déficit d'environ 8 000 billets d'avion à Surakarta. Cependant, du 18 au 29 novembre, le nombre de passagers fréquentant l'aéroport est supérieur à la moyenne, 3 250 passagers de plus sont enregistrés et la compagnie Lion Air profite de la demande et rajoute un vol par jour à destination et en provenance de Jakarta. Cette hausse de passagers est la conséquence directe de la clôture de l'aéroport de Yogyakarta et du report des passagers vers l'aéroport de Surakarta pour se rendre ou venir de Jakarta.

Par conséquent, l'éruption a eu des conséquences bénéfiques pour l'aéroport de Surakarta. Cet aéroport a moins subi les impacts de l'éruption, il a réussi à s'adapter à celle-ci et même a tiré parti de sa situation géographique pour niveler l'impact des pertes économiques.

La crise du Merapi a eu des conséquences économiques importantes dans le secteur du transport aérien. Au début de la crise, Garuda Indonesia, qui est connue pour être la compagnie indonésienne la plus sûre, a été la première à prendre des mesures par rapport à l'éruption en annulant une partie de ses vols du 26 octobre. Elle est également la compagnie qui a annulé le plus grand nombre de vols avant la fermeture de l'aéroport, entre le 26 octobre et le 4 novembre.

Sur la liaison Yogyakarta - Jakarta, 57 vols de la compagnie Garuda ont été annulés. La perte estimée par vol pour cette compagnie sur cette liaison est d'environ 60 millions de rupiah, la perte totale de Garuda Indonesia a donc atteint 4,4 milliards de rupiah (283 000 euros) pour l'ensemble de ces vols de cette route. Sur la liaison Yogyakarta - Denpasar, la valeur estimée de chaque vol est d'environ 71 millions de rupiah, ainsi la perte totale est de l'ordre de 283 millions de rupiah (23 500 euros). Ces pertes ont été calculées sur la base d'un prix de vente moyen, le tarif unitaire différant selon le type de billets (échangeables, promotions,...) et la classe (économique ou affaire). Toutefois, il ne prend pas en compte les différents coûts impliqués pour un vol, comme le personnel, le carburant et l'entretien. Ces pertes ont eu lieu au début de la crise et se sont élevées à plus de 300 000 euros. Cela met en évidence le coût de la sécurité des passagers pour ce transporteur qui est connu pour être le meilleur et le plus sûr du pays.

La deuxième compagnie aérienne qui a réagi est Mandala Airlines. Avant la crise du Merapi, la compagnie rencontrait déjà des problèmes financiers, des annulations de vols réguliers et des retards. Entre le 26 octobre et le 4 novembre, la société a annulé 34 vols, parfois plus de la moitié de ses vols réguliers quotidiens. En dépit de la réouverture de l'aéroport, Mandala Airlines a fait faillite le 13 Janvier 2011 et suspendu tous ses vols. Elle n'a pas fait faillite seulement à cause de l'éruption du Merapi, mais pour de nombreux problèmes financiers rencontrés au cours de l'année 2010. Néanmoins, les annulations de vols liés à l'éruption ont fortement contribué à aggraver sa situation.

La réponse des transporteurs *low cost* comme Lion Air face à la crise est spécifique. Lion Air a une mauvaise réputation en raison de ses retards fréquents, du mauvais entretien

de ses avions, et plus récemment parce que plusieurs de ses pilotes de vol ont été arrêtés pour usage de stupéfiants sur leur lieu de travail (*Jakarta Globe*, 11 février 2012). Début 2010, la compagnie aérienne était encore sur la liste noire de l'Union européenne lui interdisant de se poser sur le sol européen. Lion Air et sa filiale Wings Air (également sur la liste noire en Europe), exploite 26 vols par jour en provenance et à destination de Yogyakarta. Au cours de la première phase de l'éruption, les deux compagnies aériennes n'ont pas annulé l'ensemble de leurs vols, y compris les 3 et 4 novembre. Contrairement à Garuda Indonesia, ces compagnies *low cost* privilégié leurs profits aux dépens de la sécurité des passagers, pour une question de survie économique.

Les réactions de ces compagnies face à une éruption montre la difficulté pour celles-ci à prendre la décision de suspendre leurs vols au profit de la sécurité ou de les maintenir au profit de l'argent généré.

4.3. Un enjeu majeur de la crise : le pèlerinage à la Mecque

En 2010, la fête de l'Aïd al-Kabir, qui marque la fin du pèlerinage à La Mecque en Arabie Saoudite a eu lieu le 16 novembre. Le pèlerinage a commencé un mois avant le début de l'éruption du Merapi. Le *Hadj* ou pèlerinage à La Mecque est le cinquième pilier de l'Islam, l'une des obligations dans la mesure du possible dans la vie d'un musulman. Ce pèlerinage a lieu le mois précédant la fête de l'Aïd al-Kabir, la fête du sacrifice. Chaque année, des centaines de milliers de musulmans font le pèlerinage à La Mecque, dont des dizaines de milliers d'Indonésiens.

Le *Hajj*, très important pour les musulmans et donc pour la majeure partie des Indonésiens, nécessite d'épargner durant de nombreuses années afin de pouvoir payer le voyage pour toute la famille. Par ailleurs, le gouvernement indonésien établit des quotas afin que des habitants de toutes les provinces puissent partir, et pas seulement ceux des provinces les plus riches. Les habitants doivent donc s'inscrire sur des listes d'attente. En moyenne un Javanais, toute province confondue, peut effectuer le pèlerinage cinq ans après son inscription, alors que le délai est de 11 ans pour les provinces les plus riches comme Kalimantan Est ou les plus peuplées comme Java Est, qui comptabilisent le plus de demandeurs. Un voyage à la Mecque lors du *Hajj* coûte environ 30 millions de rupiah (2 500 euros) et 5 millions de rupiah (415 euros) sont remboursés par le gouvernement indonésien au retour. Ces formules incluent les billets d'avion, l'hôtel, la nourriture, les

transports, etc. pour un voyage d'une durée de 40 jours environ. En 2010, pour la province de Java Centre, les départs opérés par la compagnie Garuda Indonesia ont commencé le 12 octobre et se sont terminés le 9 novembre, à raison de deux à six avions de type A330 d'une capacité de 375 passagers, par jour. En 2010, 32 875 personnes ont effectué le pèlerinage à la Mecque au départ de l'aéroport de Surakarta.

Néanmoins, l'éruption a perturbé le pèlerinage, et le 1^{er} novembre, Garuda Indonesia a fait acheminer les pèlerins en bus à partir de l'aéroport Juanda de Surakarta vers celui de Surabaya. Au total, 25 des 88 vols pour la Mecque sont partis au départ de l'aéroport Juanda transportant 9 500 pèlerins. Tous ont donc pu se rendre à La Mecque, gênés seulement par un long voyage additionnel en bus de 8 h.

La gestion d'une crise volcanique dans le domaine du trafic aérien dépend certes de l'activité volcanique, mais aussi des enjeux qui varient en fonction de la période de l'année. Lors de l'éruption du Merapi de 2010, la crise survenue au second plus mauvais moment de l'année, le premier étant la période du *Lebaran*, correspondant à deux jours fériés (prolongée de quelques jours de congés) qui permettent aux Indonésiens musulmans de se rendre dans leurs familles pour célébrer la fête d'*Idul Fitri*, qui marque la fin du Ramadan. A ce moment de l'année, plus de 200 millions d'indonésiens sont en vacances, tous les réseaux de transports (routes, trains, avions et bateaux) sont saturés. Si un scénario identique à la crise de 2010 avait lieu durant la période du *Lebaran*, les perturbations seraient d'une plus grande ampleur et les conséquences économiques du pays seraient catastrophiques pour l'Indonésie.

4.4. Cette crise est-elle comparable à celle du volcan Eyjafjöll de 2010 ?

La crise du volcan Eyjafjöll en Islande et celui du volcan indonésien n'ont pas eu des conséquences de même ampleur. Ces crises peuvent mettre en évidence les différentes répercussions entre pays du Nord et pays du Sud.

Lors de la crise du volcan Eyjafjöll, le trafic aérien européen a été surtout perturbé pendant huit jours entre les 15 et 23 avril 2010. En Indonésie, l'éruption du Merapi a généré des perturbations sur une plus longue période en raison de la position centrale du volcan sur l'île de Java, tandis que l'Islande est décentrée par rapport au continent européen. Pourtant, on estime que 110 000 vols ont été annulés en Europe (ACI Europe, 2010), contre 2 520 en Indonésie.

Dès le début de la crise européenne, la Direction Générale de l'Aviation Civile (DGAC) a décidé de suspendre tous les vols dans la zone traversée par le nuage de cendres émis par le volcan islandais. En revanche, en pleine éruption du Merapi, situé à seulement à 25 km de l'aéroport Adisucipto, et alors qu'une partie de la ville est recouverte d'une couche de cendres de plusieurs millimètres, la direction de l'aéroport décide de simplement nettoyer la piste et de relancer les activités de vol en faisant voler les avions à une altitude différente pour éviter le panache. Ces décisions montrent que le principe de précaution est rarement appliqué lors d'une crise majeure en Indonésie. À l'inverse, il a été démontré que ce principe a été appliqué avec exagération en Europe pendant la crise islandaise, alors que les mesures de concentration de cendres dans l'air y étaient beaucoup plus faibles. En Indonésie, l'aviation civile et le gouvernement font face à des crises volcaniques chaque année. Leur perception du risque et le processus décisionnel sont plus pondérés, ce qui les préserve de prendre des décisions excessives. En outre, les compagnies aériennes européennes sont économiquement moins fragiles que celles d'Indonésie. Les premières peuvent se permettre de suspendre leurs vols pendant quelques jours alors qu'une partie des compagnies de l'archipel préfèrent maintenir leur activité malgré un risque plutôt que d'annuler leurs vols et de rembourser leurs clients.

Cependant, les figures 85 et 94 montrent que le principe de précaution a été toutefois appliqué, même si assez tardivement, à l'aéroport de Yogyakarta durant la crise du Merapi mais pas de manière exagérée comme en Europe et il aurait pu l'être un peu plus, notamment pour les autres aéroport de l'île.

4.5. Impacts de la crise sur les modes de transports alternatifs

Lors d'une éruption affectant le trafic aérien, les transports alternatifs jouent un rôle déterminant sur les répercussions économiques et sociales des zones touchées.

Alors que les voitures, les camions et les autobus sont couramment utilisés dans les pays développés lors des évacuations en cas de catastrophes naturelles (Huang, 2011, Zhan et Chen, 2008), les motos jouent un rôle clé lors de l'évacuation en cas de catastrophes naturelles en Indonésie, car c'est le véhicule le plus couramment utilisé dans le pays, dans les zones urbaines comme dans les zones rurales. En 2009, plus de 52 millions de motos ont été enregistrées en Indonésie par le Bureau National de la Statistique (BPS, 2010). Par rapport au total de la population (237 641 000 habitants en 2009), cela signifie qu'il y a une moto pour

quatre habitant en moyenne, soit grossièrement une moto par famille. Dans les plans de contingence pour l'ensemble des flancs du Merapi, les autorités locales des quatre *kabupaten* ont recensé 1 656 voitures, 657 voitures pick-up, 167 camions, 8 869 motos et 15 ambulances, pouvant être utilisées en cas d'évacuation (*Kesbanglinmas*, 2009). D'après cette étude, 23 voitures et 184 motos pour 1 000 habitants ont été recensées dans les 60 villages exposés aux aléas du Merapi. Les évacuations des villageois s'effectuent principalement en moto et en camion plutôt qu'en voiture (Fig. 43, chapitre III). Les motos ont également été utilisées au cours de la crise pour s'enfuir de Yogyakarta vers d'autres provinces, plus utilisées que l'avion ou le train.

Les perturbations aériennes ont donc eu plus des répercussions économiques que de répercussions sociales, contrairement à la crise islandaise qui a perturbé le quotidien de millions de personnes, mais où des moyens de transports alternatifs efficaces ont été mis en place.

En Europe, l'Eurostar relie Paris à Londres par voie ferrée avec 18 trains par jour. Dès le début des perturbations liées au volcan Eyjafjöll, Eurostar a reçu des demandes supplémentaires (*BBC News*, 20 avril 2010). La société a fourni des places pour 50 000 passagers supplémentaires avec six trains complémentaires les 15 et 16 avril 2010, et tous ces trains ont circulé à plein. Le lendemain, la compagnie de chemin de fer a renforcé ces mesures et a ajouté huit trains entre Paris et Londres (*La Tribune*, 17 avril 2010). Le dimanche 18, Eurostar a déclaré que 6 500 billets supplémentaires avaient été vendus pour relier les deux capitales (*Libération*, 17 avril 2010). Côté français, la SNCF a mis en place des trains supplémentaires pour 8 400 passagers, la plupart d'entre eux étaient des passagers internationaux (*Libération*, 17 avril 2010). Les trains Thalys, qui relient Paris à Bruxelles et Amsterdam, ont ajouté 1 900 places supplémentaires à leurs trains réguliers (*News-assurances*, 17 avril 2010).

Malgré l'augmentation du nombre de trains et de wagons, et l'exode des habitants du Merapi lié aux évacuations, le nombre de passagers quittant Yogyakarta n'a que très faiblement augmenté, 15 214 par jour durant la période où l'éruption était la plus importante. On aurait pu penser que les passagers n'ayant pu prendre l'avion en raison de la fermeture de l'aéroport auraient reporté leur déplacement via le réseau ferré mais cela n'a concerné que 638 passagers de plus en moyenne par jour. Les déplacements en avion de courte durée (par exemple 45 minutes entre Jakarta et Yogyakarta) prennent en moyenne dix fois plus de temps en train. Les passagers ont généralement préféré reporter leurs voyages. En Europe, les

passagers se reportent sur les trains à grande vitesse, aussi confortables et rapides que l'avion.

Ces données nous montrent que les habitants du volcan et de Yogyakarta n'ont pas été les réels bénéficiaires des mesures prises par la compagnie des chemins de fer. Mais la hausse de passagers sur le réseau ferré est simplement due à une plus grande disponibilité de places dans les trains. Les passagers des compagnies aériennes n'ont donc pas changé de mode de transport, ils se sont juste reportés vers les aéroports internationaux les plus proches de Yogyakarta, Adisumarmo de Solo, situé à 1h de route de Yogyakarta ou Achmad Yani de Semarang situé lui à 3 h de route.

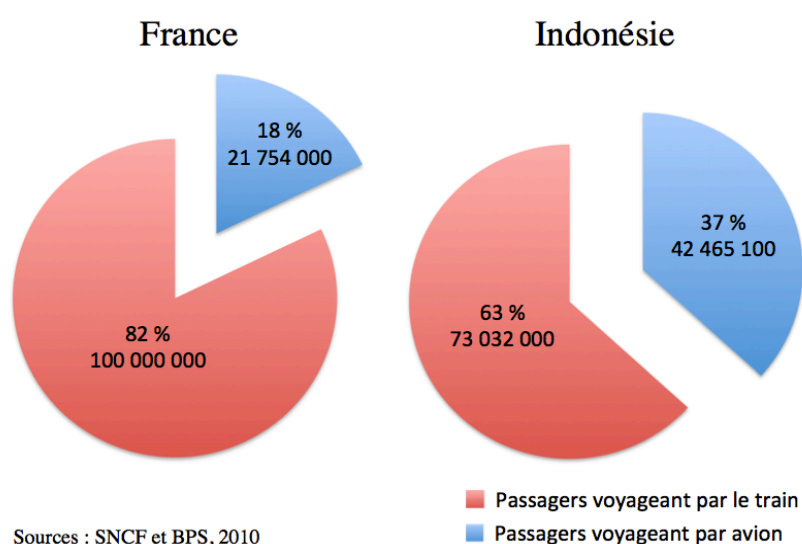


Figure 95. Comparaison de la part des passagers voyageant par le train et par l'avion en 2010, en France et en Indonésie.

La proportion de passagers voyageant en train et en avion n'est pas la même en France et en Indonésie. La figure 95 montre la proportion de passagers qui ont voyagé par le train et par l'avion à l'intérieur du pays en 2010 en France et en Indonésie, exclusion faite du transport dans les zones urbaines. L'Indonésie, le plus grand archipel du monde, réparti sur trois fuseaux horaires possède un réseau ferroviaire très peu développé, seulement sur deux de ses 13 700 îles, mais est doté d'un réseau d'autocars très important, moyen de transport inter-régional et interinsulaire (traversant avec des bacs). Elle est donc plus dépendante de l'avion et de l'autocar que la France, équipé d'un réseau ferroviaire dense et de trains à grande vitesse. La perturbation du réseau aérien pose donc des problèmes plus importants en

Indonésie qu'en France. Mais dans les deux pays, les chemins de fer sont les transports alternatifs « gagnants » des crises liées aux éruptions volcaniques.

Afin d'éviter le blocage des voyageurs, comme ce fut le cas en Europe en 2010, les gouvernements, les campagnes aériennes et les compagnies ferroviaires devraient mettre en place des plans de gestions de crise pour les éruptions volcaniques. Ces plans devraient tout d'abord, établir une estimation du nombre de passagers voyageant par avion durant la période prévue de la crise. Puis pouvoir anticiper le nombre de trains et d'autocars qui seront nécessaires pour les acheminer vers leur destination. Cela éviterait des blocages et des coûts très importants pour les assurances ainsi que pour leurs prestataires (chambres d'hôtel, transports alternatifs particuliers,...).

L'éruption majeure du Merapi en 2010 a donc eu des incidences sans précédent dans de nombreux domaines. Dans le secteur du transport aérien, l'aéroport de Yogyakarta Adisucipto a fermé ses portes pour la première fois et pour une période de 15 jours, ce qui a entraîné une paralysie des activités de la ville (chapitre VI). Dans plusieurs aéroports de Java - y compris celui de la capitale Jakarta - le trafic aérien a été perturbé. Cependant, malgré la forte magnitude de l'éruption et grâce aux recommandations à la prudence de l'aviation civile indonésienne, aucun accident ne s'est produit. Avec les différents types de transports alternatifs, l'Indonésie a montré sa capacité à faire face aux risques volcaniques. Plusieurs compagnies aériennes ont déplacé le lieu de départ de leurs vols vers d'autres aéroports de l'île et tous les pèlerins pour la Mecque ont pu voyager en toute sécurité. Cependant, la crise a montré que l'Indonésie n'a pas d'autres moyens de transport adéquats pour faire face à la fermeture d'un aéroport alors que les éruptions y sont fréquentes et régulières.

Chapitre VI – Les impacts socio-économiques de l'éruption

L'éruption exceptionnelle du Merapi de 2010 eut de lourdes conséquences socio-économiques au niveau local et régional. Les différents types d'écoulements pyroclastiques produisirent de lourds impacts sur le bâti en touchant des zones plus importantes que les éruptions du siècle dernier. Ils causèrent également de lourdes pertes économiques sur le secteur agricole, principal secteur d'activité des flancs du volcan. Les impacts indirects eurent également des conséquences économiques plus lourdes et lointaines, en partie engendrées par la fermeture de l'aéroport de Yogyakarta qui occasionna un effet en chaîne d'impacts négatifs sur le tourisme régional.

Malgré cela, les villageois des zones touchées directement par l'éruption ont réussi à tirer profit de celle-ci en développant le tourisme de catastrophe afin de pouvoir recommencer une vie dans des zones moins exposées aux aléas du Merapi.

Ce chapitre commencera par présenter les recherches déjà effectuées sur les conséquences socio-économiques des éruptions volcaniques, puis il étudiera les conséquences sur le bâti provoquées par l'éruption du Merapi de 2010. Puis, la thèse se poursuivra par l'analyse des impacts sur le secteur agricole du volcan. Enfin, l'étude montrera comment un effet domino sur le secteur du tourisme s'est produit à la suite de la fermeture de l'aéroport de Yogyakarta.

1. Les conséquences socio-économiques des éruptions

Les éruptions volcaniques peuvent avoir d'importantes répercussions économiques, tant au niveau national qu'au niveau local, pour les ménages et pour les communautés. Cependant, la nature et l'ampleur de ces impacts dépendent d'un certain nombre de facteurs. Il s'agit notamment de la nature précise de l'activité volcanique, du calendrier des différentes phases éruptives par rapport aux saisons climatiques et agricoles ainsi qu'aux autres activités économiques cycliques comme le tourisme. Il en est de même pour la densité de population et des types d'activité économique dans la zone touchée, et de son importance économique pour le reste du pays.

- **Évaluation des coûts et dommages physiques causés par les éruptions volcaniques**

Les coûts économiques des catastrophes sont souvent subdivisés en coûts directs, coûts indirects et effets secondaires (Nations Unies, 1979 ; Anderson, 1991 ; Bull, 1992 ; OCDE, 1994 ; Otero et Marti, 1995).

Benson (2005) montre que les coûts directs sont principalement liés aux dommages physiques et aux immobilisations dues aux évacuations. Ils touchent principalement les bâtiments, les infrastructures, les installations industrielles, et les stocks de produits finis, intermédiaires et de matières premières, détruites ou endommagées par l'aléa. Les pertes de production sont souvent incluses dans les estimations des coûts directs.

Les coûts indirects se réfèrent aux dommages concernant les services, et les biens endommagés ou détruits ; Ceux-ci prennent également en compte les dommages sur les infrastructures utilisées pour le commerce tel que les routes et les ports.

Les estimations des effets secondaires concernent à la fois des effets à court et à long terme des impacts de la catastrophe sur la performance économique globale, tels que les impacts sur le commerce et les équilibres budgétaires du gouvernement et de l'endettement. Cela peut accentuer l'impact sur la répartition des revenus ou amplifier la pauvreté. Ces effets peuvent aussi inclure des changements dans la politique monétaire et budgétaire du gouvernement, par exemple, contenir les effets économiques induits par les catastrophes en pesant sur l'augmentation de l'inflation pour la stabiliser.

Dans tous les cas les catastrophes génèrent des pertes. Selon les études existantes, l'équilibre relatif des coûts directs, indirects et secondaires, varie selon les catastrophes en fonction de la nature et l'étendue des dégâts. Cependant, il est généralement admis que les coûts indirects sont souvent considérablement plus élevés (Otero et Marti, 1995). Cependant, la plupart des estimations des coûts des catastrophes sont fondées sur des dommages post-catastrophe, qui sont sous-estimées. Ces évaluations ont pour but de fournir des informations afin d'organiser la reconstruction et la réinstallation des populations. Elles portent principalement sur les dommages aux bâtiments, aux infrastructures (telles que les routes et les ponts, l'électricité et câbles électriques, et les réseaux d'irrigation) ainsi qu'aux équipements. Mais ces études fournissent peu de renseignements sur les impacts indirects et secondaires, plus économiques des catastrophes. Elles comprennent également les coûts des frais médicaux et de perte de productivité liés à aux maladies, aux blessures et aux décès.

Ainsi, les évaluations des dommages disponibles sous-estiment généralement le coût réel de la catastrophe.

Les dommages spécifiques produits par des éruptions volcaniques résultent de trois aléas principaux : Les écoulements pyroclastiques, les chutes de cendres et les lahars.

Les écoulements pyroclastiques sont l'aléa le plus imprévisible, même si aujourd'hui, l'activité volcanique permet aux vulcanologues d'anticiper une éruption imminente, il n'est pas possible de déterminer le moment précis de l'éruption et son intensité.

Seuls quelques études sur les impacts liés aux écoulements pyroclastiques en zone peuplées ont été menées. Deux éruptions ont été observées en détail : celle de la Montagne Pelée de la Martinique du 8 mai 1902 et celle de la Soufrière de Montserrat de 1997. Les multiples études ont permis de bien évaluer les conséquences de ces éruptions.

Lacroix est arrivé en Martinique six semaines après les écoulements pyroclastiques du 8 mai 1902 qui ont frappé la ville de Saint Pierre provoquant la destruction partielle de bâtiments de maçonneries robustes et causèrent la mort de 28 000 personnes. La première équipe scientifique à avoir travaillé dans la zone touchée (Kennan, 1902) est arrivée un jour après le 20 mai 1902, qui avait causé des dommages supplémentaires à St Pierre. Les seules données disponibles pour montrer l'impact de la première éruption (du 8 mai) sont donc des photographies et des descriptions des dommages associés étudiés dans la monographie de Lacroix (1904). Lacroix a été le premier à évaluer les pressions dynamiques, les températures et de comprendre l'existence même de « nuées ardentes » et de leur potentiel destructeur dans les villes (y compris en spéculant sur la destruction de Pompéi et d'Herculanum par des écoulements pyroclastiques dans le 79 A.D. éruption du Vésuve). Les pertes économiques causées par l'éruption de la Montagne Pelée ont été estimées à 200 millions de dollars (153 millions d'euros).

L'éruption du 25 juin 1997 de la Soufrière de Montserrat provoqua la mort de 19 personnes et détruisit Plymouth, la capitale de l'île. Près des deux tiers des 13 000 habitants de Montserrat furent exilés sur les îles voisines et au Royaume-Uni.

L'évaluation des impacts des trois écoulements pyroclastiques sur le bâti fut effectuée par Baxter et al. (2005) au moment de l'éruption et dans les semaines suivantes. A cause de l'activité encore intense de l'éruption, ils basèrent leur étude sur un grand nombre de photographies prises par hélicoptère lors d'une mission sur le terrain de trois jours dans la zone de l'explosion. Les zones photographiées, encore fermées au publics, ont permis d'observer l'environnement des territoires directement touchés par l'éruption, avant que les habitants de l'île ne débutent des actions de déblaiement des routes ou des maisons impactées. Malgré cela les effets de l'éruption avaient été modifiés par l'érosion qui avait

enlevé une partie des dépôts. Cette étude fut complétée par celle de Sparks et al. (2002), en se basant sur l'approche et les résultats de Lacroix (1904) à Saint-Pierre.

Dans ces deux études, le nombre de maisons détruites, ensevelies et brûlées par les coulées pyroclastiques a été très important. Une ville frappée de plein fouet par un écoulement pyroclastique ne peut donc pas être protégée. Les habitants de Montserrat ont été sauvés en évacuant à temps, si les autorités locales n'avaient pas anticipé la catastrophe, les 13 000 habitants de la ville auraient été tués.

L'éruption du volcan Colombien Nevado del Ruiz du 13 novembre 1985 fit également 25 000 victimes (Sigurdsson et Carey, 2007) et de dégâts matériels mais à cause d'aléas différents. Lors de l'éruption qui débuta le 11 septembre 1985, les coulées pyroclastiques firent fondre la neige des glaciers du sommet du volcan, provoquant la formation de quatre énormes lahars qui dévalèrent les flancs du volcan à une vitesse moyenne estimée à 60 km/h (Voight, 1990). Dans la nuit du 13 au 14 novembre 1985 à 23 h 30, les lahars ensevelirent la ville d'Armero, tuant près de 25 000 des 29 000 habitants de la ville (Mileti et al., 1991). 4 500 personnes furent blessées, environ 8 000 se retrouvèrent sans abri ; 15 000 animaux furent tués. La catastrophe causa 1 milliard de dollars de dégâts et pertes économiques (San Diego State university).

Le 12 juin 1991, le Pinatubo, situé aux Philippines, entre en éruption après 500 ans de sommeil, l'explosion produit un panache de cendre qui atteint 24 km de hauteur et des écoulements pyroclastiques qui atteignent une distance de 19 km (Wolfe et Hoblitt, 1997). Alors que l'éruption se poursuit, le 15 juin, le Typhon Yunya frappe l'île de Luçon, à 75 km du volcan et provoque des pluies diluviennes. Le même jour le panache éruptif du Pinatubo atteint une altitude de 34 km, en tout, 10 km³ de cendres sont émises par le volcan depuis le début de l'éruption. L'association de ces deux aléas intenses provoque d'importants lahars. L'éruption provoque la mort de 300 personnes, pour la plupart à cause de l'effondrement des toits des habitations à cause du poids des cendres gorgées d'eau. ; 8 000 maisons furent complètement détruites et plus de 73 000 endommagées par les cendres et les lahars (Mercado et al, 1997). Les écoulements pyroclastiques endommagèrent les routes et moyens de communications. Le coût estimé des dommages sur les infrastructures est de 3,8 milliards de pesos (70 millions d'euros). Les pertes pour l'agriculture s'élevèrent à 1,5 milliard de pesos (27 millions d'euros).

L'éruption a été peu meurtrière malgré son intensité en raison d'une bonne gestion au moment de la crise. Cependant, des complications post-éruption dans les camps de réfugiés ont causé de nombreux décès supplémentaires dans les camps de réfugiés. D'un point de vue économique, les cendres touchent des surfaces plus importantes que les lahars et les écoulements pyroclastique et en grande quantité, comme ici, ont des conséquences catastrophiques sur des superficies importantes.

Ces dernières décennies ont été marquées par des avancées significatives dans l'estimation des dommages directs sur les infrastructures causés par des séismes, des inondations, et d'autres catastrophes naturelles. Concernant les catastrophes volcaniques majeures du siècle dernier, les références sont plus rares. Plusieurs études ont été consacrées aux phénomènes volcaniques indirects consécutifs à une éruption tels que les lahars qui peuvent ensevelir des villes entières comme Armero en Colombie (Pierson et al, 1990). Peu d'études portent sur les impacts directs sur le bâti. Cependant, les pertes matérielles directes et indirectes ont un poids important lors de l'estimation des impacts d'une éruption donc ne doivent pas être négligées.

Pour les bâtiments, le type et le degré de dommages sont liés à une corrélation entre leur proximité à l'écoulement pyroclastique et au type d'écoulement. Les dommages peuvent être utilisés comme un indicateur de mesure directe des variables des flux, comme pour mesurer l'intensité des échelles de destructivité d'un tremblement de terre (Jenkins et al, 2012).

Les dommages associés à l'éruption du mont Lamington en Papouasie-Nouvelle-Guinée le 21 Janvier 1951 a été étudiée par Taylor (1983), qui était présent tout au long de l'éruption, mais, à l'exception des bâtiments situés au bord de la zone d'impact, 10 à 12 km au nord du volcan, les bâtiments touchés possédaient des structures en bois peu résistantes, donc peu d'information sur les impacts thermiques et la pression ont été collectés. Les impacts de l'éruption du Mont Saint Helens en 1980 ont été répertoriés par Lipman et Mullineaux (1981), cependant la majorité des dommages étaient de types indirects, dus à des coulées de boues et inondations.

Niveau	Description	Effets observés	Effets estimés	Pression approximative
0	Pas de dommages	Les fenêtres et le toit sont intacts. Minimum de dommages externes : brûlure pour les bâtiments, de même pour les maisons en bois. Aucune preuve de carbonisation poussé sur des clôtures ou sur les poteaux, mais de légers dommages sur les poteaux en bois et sur la végétation, y compris sur les arbres. <i>Peu ou pas de pénétration de cendres, sauf en cas de mauvaise qualité des fenêtres.</i>	Peu de dégâts, sauf pour quelques vitres.	< 1 kPa
1	Dommages légers	Une ou deux fenêtres sur le côté faisant face au cratère ont les vitres cassées. Pas, ou peu de dégâts liés au feu, uniquement au niveau de la toiture. Conséquences principalement en raison de la chaleur intense, pas lié à la pression dynamique. Clôture et poteaux sont intacts. Les gouttières en PVC sont fondues. <i>Fine couche de cendres à l'intérieur des bâtiments. Dommages causés par la chaleur localisée à la pièce ou aux pièces touchés ou juste dans le coin d'une pièce.</i>	Les aérations en PVC fondent, les cadres en aluminium en mauvaise condition rompent, ce qui laisse progresser les cendres. Les vitres sont brisées.	1 à 3 kPa
2	Dommages modérés	Les vieilles fenêtres en bois et les cadres des portes ont implosé sur le côté orienté vers le cratère, mais les cadres des fenêtres sont intacts, les volets sont soufflés vers l'extérieur. Le toit est partiellement brûlé aux endroits où la chaleur l'écoulement est importante. Effets visibles des pressions dynamiques et de la chaleur autour des bâtiments. Toutes les maisons en bois sont consumées. <i>Épaisse couche de cendres dans des pièces où les ouvertures ont été impactées, mais fine couche dans le reste du bâtiment. Incendie causé par la combustion du mobilier causé par les dépôts de cendres chaudes. S'il n'y a pas de mobilier, le toit reste intact mais extérieurement endommagé par la chaleur de l'écoulement. Si une combustion a lieu dans une pièce, un incendie se produit et brûle une partie du toit de l'intérieur.</i>	Les cadres de fenêtres en aluminium et les portes sont endommagés ou détruits.	2 à 6 kPa
3	Dommages lourds	Toutes les fenêtres face au volcan ont implosé, les trames sont manquantes. Les fenêtres et les cadres sur les côtés opposés au volcan sont soufflés, les toitures sont arrachées. Marques de dégâts causés par des missiles. Missiles tels que tôles galvanisées et bois sont abondants et rassemblés contre les murs faisant face cratère. La cime des arbres robustes est coupée, la plupart des arbres et des poteaux électriques sont abattus ou renversés. Les clôtures et poteaux sont renversés. <i>Incendie généralisé à l'intérieur du bâtiment, partout où les cendres ont pénétrées. Le toit est consumé par le feu.</i>	Certaines conséquences importantes pour les structures en maçonnerie. La maçonnerie en panneaux de béton armé des structures rompt dans de nombreux bâtiments. Beaucoup des bâtiments à deux étages aux fondations non parasismiques s'effondrent et les Bâtiments aux structures parasismiques faibles sont affaiblies ou s'effondrent.	4 à 10
4	Destructions partielles	Comme pour le niveau 3, mais la perte de parties des murs externes et / ou internes. Multiples impacts de projectiles sur les murs faisant face au volcan, la plupart ou la totalité de la toiture est manquée en raison de l'incendie ou arraché. Les bâtiments de bâtiments de construction légère sont soufflés. Abondance de débris de missiles.	Toute la maçonnerie en panneaux s'effondre. Ce qui généralise de graves dommages aux bâtiments. Effondrement des structures à l'exception des structures parasismiques fortes en béton armé.	8 à 25 kPa
5	Destructions totales	Les murs sont détruits, seules la base de la structure de certains murs est encore en place. Plusieurs impacts de projectiles de grande taille. Dévastation complète liée à la chaleur, aux pressions dynamiques et aux missiles. Le terrain est recouvert de peu de dépôts ou débris.	Toute la maçonnerie non parasismique s'effondre. Seul les structures parasismiques fortes et bâtiments de 2 étages avec structures en béton armé reste en place, mais tous sont sérieusement endommagés.	> 25 kPa

Tableau 12. Classification des niveaux de dommages des bâtiments causés par les écoulements pyroclastiques. Source : Baxter et al., 2005

Sur la base de données issues de l'éruption de Montserrat et d'autres données, Baxter et al. (2005) ont proposé une classification descriptive des niveaux de dommages des bâtiments (Tab. 12) qui est une étape vers une telle échelle pour les écoulements pyroclastiques. Cependant, la relation entre les caractéristiques de l'écoulement et le potentiel de dommages aux bâtiments est très importante pour la planification de la préparation aux catastrophes, l'atténuation de leurs effets, ce qui est utile pour les assurances (Spence et al., 2004).

Baxter *et al.* (2005) montrent que les dommages les plus importants de l'éruption de la Soufrière de Montserrat en 1995 ont été causés par le *blast*, latéralement dirigé. Des impacts moins destructeurs ont été dus aux déferlantes, dont la pression est moindre mais qui projette des missiles. Enfin, les hautes températures des cendres provoquent des incendies des meubles ou autres objets facilement inflammables. La vulnérabilité des bâtiments repose sur les ouvertures, principalement sur les fenêtres et protègent mal les objets inflammables et sur les matériaux de construction qui résistent plus ou moins à la pression.

Dans tous les cas, les pressions sont difficiles à estimer précisément car elles nécessitent de très bien connaître la zone impactée avant l'éruption. La pression est estimée à partir d'indicateurs et de calculs basés principalement sur les structures des bâtiments (murs cassés, tombés, armatures en métal cassées ou pliées, ...) et sur les arbres (couchés, coupés, pliés, ...). L'étude sur le bâti nécessite de connaître l'épaisseur des murs, le type de matériaux utilisés, les ouvertures de l'édifice, ... et celle sur les arbres, le diamètre de l'arbre, sa taille et son espèce.

Spence *et al.* (1996) détaillent les dommages sur les édifices causés par les chutes de cendres pendant la crise éruptive du Pinatubo en 1991, une éruption de forte magnitude (IEV 6). Ils établissent qu'une épaisseur de cendres de 15 à 20 cm saturée en eau représente un poids de 200 kg/m², ce qui est le seuil pour que s'effondre le toit d'une maison.

• Impacts des éruptions volcaniques sur l'agriculture

Les coulées pyroclastiques, sont pour l'agriculture, comme pour tous les domaines, l'aléa le plus destructeur puisqu'en plus de brûler les cultures, un dépôt de matériaux recouvre celles-ci. Aucune culture ne survit aux coulées pyroclastiques et aux *blasts* qui brûlent également toutes les espèces, jusqu'aux racines.

À court terme, les chutes de cendres causent généralement plus de dommages que les écoulements pyroclastiques lors des éruptions puisqu'elles touchent des surfaces agricoles beaucoup plus importantes et agissent sur des périodes plus longues.

La vulnérabilité des espèces végétales est très variable en fonction du type et de la position dans la plantation. Les légumes à racines et à faible croissance, comme les carottes, les pommes de terres, oignons et choux sont les légumes les plus résistants aux chutes de cendres (Wilson et al. 2007). D'une part, la majorité de ces légumes se développent sous terre, d'autre part, dans les champs, ils se trouvent souvent protégés par d'autres espèces plus hautes (piment, tomates, tabac) qui ont un effet para-cendres. Les plantes à feuilles brillantes, comme les choux, ont un effet glissant qui leur permet de ne pas faire adhérer les cendres. A l'inverse, les plantes avec de grandes feuilles velues, comme le tabac, retiennent les cendres et les rendent très vulnérables.

La maturité des plantes est également un facteur important de leur vulnérabilité. Le riz est vulnérable durant les stades matures, lorsque la graine-tête est développée, mais lors des stades initiaux de développement, la résistance est bonne. Le maïs est, quand à lui, plus vulnérable à mi-étape de développement, mais plus résistent à maturité. Wilson et al. (2007) proposent une classification de la vulnérabilité des espèces cultivées sur le Merapi face aux chutes de cendres (annexe I). Les cendres fraîches, lors de leur dépôt en surface, sont très acides en raison de la présence dans le panache d'aérosols composés d'acides minéraux forts H_2SO_4 , HCl et HF (Witham et al., 2005 ; Stewart et al, 2006). Cette acidité cause des dommages sur la végétation. Wilson et al. (2007), expliquent qu'en plus de détruire les végétaux par l'acidité, les retombées de cendres peuvent, en recouvrant la plante sur de plus grandes surfaces, empêcher la photosynthèse et l'étouffer. La seule solution pour empêcher les cendres de les détériorer est ainsi perdre les récoltes est de laver les feuilles des plantes et des arbres, les fruits et légumes. Mais souvent le coût pour laver revient plus cher que la récolte elle-même.

En plus des chutes de cendres, la végétation peut être exposée à des gaz volcaniques acides (SO_2 , H_2S , HCl) qui peuvent interagir avec l'humidité de l'atmosphère et former des brouillards ou pluies acides. Les dépôts acides sur la végétation naturelle, les cultures et les sols peuvent provoquer les effets suivants (*Environnement Canada*, 2007) :

- modifier la surface protectrice cireuse des feuilles, en abaissant la résistance aux maladies ;
- inhiber la germination des plantes et la reproduction ;
- accélérer l'altération des sols et l'élimination des nutriments ;
- rendre certains éléments toxiques comme l'aluminium, plus soluble (en haute concentrations dans le sol l'aluminium peut empêcher l'absorption et l'utilisation des nutriments par les

plantes).

Les signes typiques de dégâts liés à l'acidité apparaissent sous forme de tâches jaunâtres sur les feuilles, un enroulement des bords des feuilles et un assèchement des plantes. Les dégâts peuvent être exacerbés en saison sèche, après la chute de cendres, ces dernières restent collées sur la plante, la condensation liées aux rosées matinales développe l'acidité des cendres mais n'est pas suffisante pour laver la plante.

Le bilan des études des impacts des éruptions montre que d'une part, très peu de scientifiques ont traité le sujet et d'une part, l'étude d'une éruption est souvent réalisée sur un thème précis et donc il est rare d'avoir un retour d'expérience transversal. De plus, les études existantes se fondent sur des données post crise car il est difficile de se trouver sur le lieu de l'éruption au moment où celle-ci débute.

Ayant débutée avant l'éruption du Merapi de 2010, cette thèse propose donc de combler partiellement ces vides et d'étudier plusieurs impacts et dans la mesure du possible d'en relier certains entre eux.

2. Les lourds impacts de l'éruption sur le bâti

L'éruption de 2010 a été très destructrice mais les impacts sur le bâti ont été localisés dans une zone comprise en amont entre l'Est de la rivière Boyong et l'Ouest de la rivière Gendol et En aval, de part et d'autre de la rivière Gendol, sur 17 km (Fig. 96). On différencie deux zones principales de dégâts, liées à deux aléas différents. La zone principale, la plus vaste et où le bâti a été totalement détruit ou lourdement endommagé, fut frappé par les *blasts* et coulées pyroclastiques du 5 novembre 2010. La seconde zone, en aval a été plus faiblement impactée sur le plan matériel, car le bâti fut essentiellement touché par les déferlantes associées aux coulées pyroclastiques du 5 novembre.

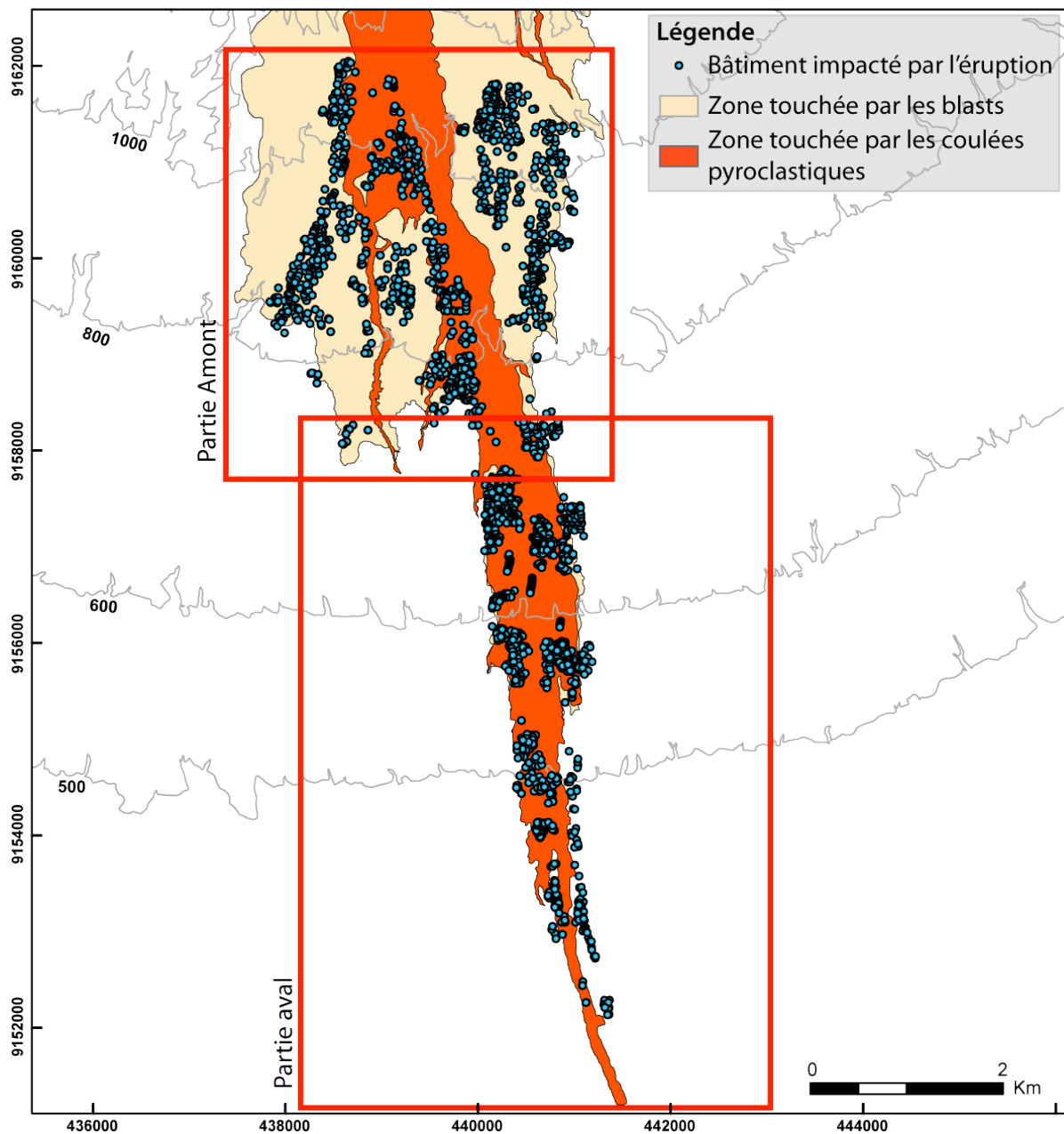


Figure 96. Carte de localisation des édifices endommagés par les écoulements pyroclastiques de l'éruption du Merapi de 2010. Source : Jenkins et al., 2013 modifié.

2.1. Les secteurs principalement détruits par les écoulements pyroclastiques : la partie amont

La partie la plus touchée fut frappée par plusieurs *blasts*, un premier de faible intensité, le 26 octobre 2010, qui endommagea 150 maisons sur une surface de 7,5 km² (Jenkins et al, JVGR, 2013). L'explosion et l'effondrement du dôme du Merapi dans la nuit

du 4 au 5 novembre 2010 provoqua une autre série de déferlantes très violentes accompagnée de coulées pyroclastiques qui endommagèrent plus de 1 300 maisons sur une surface de 22 km² comprise entre les rivières Boyong et Gendol, sur une distance de 12 km. Il n'a pas été possible de calculer la pression dynamique de la première éruption car la zone était évacuée et fermée aux scientifiques. Il n'a donc pas été possible d'effectuer de mesures pour estimer finement la pression lors de l'étude menée en collaboration avec S. Jenkins et J.C. Komorowski, mais des photos de presse et des autorités locales ont permis déduire que les pressions et les températures étaient relativement faibles en vue des dégâts observés. Jenkins et al. (soumis) estiment que les pressions des blasts du 5 novembre étaient comprises entre 1 et 15 kPa à plus de 6 km du sommet du volcan (Fig. 97).

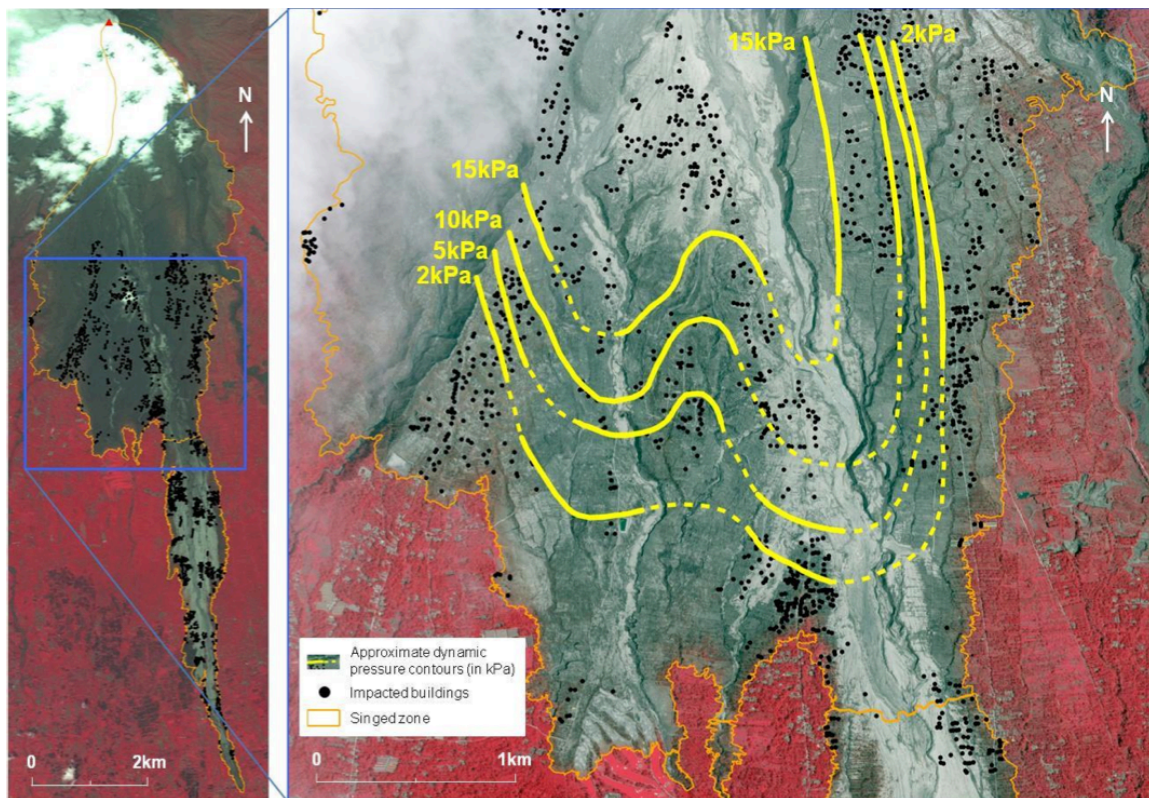




Figure 98. A et B. Vues diachroniques du parking de la maison de Mbah Marijan

1. Avant l'éruption de 2010 (Clichés : Zainun Prima Etika et Choirul Arifin)

2. Au lendemain de l'éruption du 26 octobre (Clichés : Pai et Eksi Romiasih)

3. Quelques semaines après l'éruption du 5 novembre (Clichés : Andrew Primovic et Vera)

En tout, 15 *dusun* furent frappés par les écoulements pyroclastiques dans la partie amont, sept furent totalement rasés et huit partiellement (Fig. 98). De nombreux bâtiments furent totalement rasés par les *blasts*. Ceux uniquement frappés par les coulées pyroclastiques ont été en majorité détruits en amont, recouverts par des cendres et des blocs (Fig. 99). En aval, des parties des fondations et certains murs en béton sont restés en place. Les *dusun* les plus touchés par l'éruption sont les villages de Kalitengah Lor, Jambu, Kaliadem,

Pangukrejo, Kopeng et Pelemsari – Kinahrejo (Tab. 13 ; Fig. 100). Dans ces villages l'ensemble des édifices fut détruits, seules les fondations et certains murs étaient encore en place après l'éruption. En périphérie des zones touchées par les *blasts*, les maisons ont mieux résisté. Les toitures et les ouvertures des maisons ont pour la plupart été endommagées par les impacts de « missiles » (pierres, bois, sable,...) et soufflées par l'éruption.

Dans la partie la plus en amont, la plus touchée par l'éruption, 763 maisons furent totalement détruites par les écoulements pyroclastiques de 2010 et 469 le furent partiellement.



Figure 99. L'ancienne route menant au *dusun* Kaliadem recouverte par les dépôts pyroclastiques. De part et d'autre de la route, les maisons furent détruites et ensevelies par les écoulements pyroclastiques.

<i>Dusun</i>	Édifice légèrement détruit	Édifice partiellement détruit	Édifice totalement détruit	Total édifice impactés
Kalitengah Lor*	7	9	145	161
Jambu*	23	30	89	142
Kaliadem*	0	0	123	123
Pangukrejo*	22	6	95	123
Kopeng	23	80	13	116
Kinahrejo – Pelemsari*	0	0	106	106
Gondang	7	41	28	76
Gondang Plosorejo	14	39	23	76
Balerante	20	48	7	75
Srunen	5	40	21	66
Petung	27	0	32	59
Singlar	2	4	48	54
Kalitengah Kidul	12	1	33	46
Batur	2	7	0	9
TOTAL	164	305	763	1232

Tableau 13. Principaux villages dont les bâtiments ont été endommagés par l'éruption du Merapi de 2010 dans la partie amont de la zone touchée par les écoulements pyroclastiques.

**Dusun* totalement détruit par l'éruption

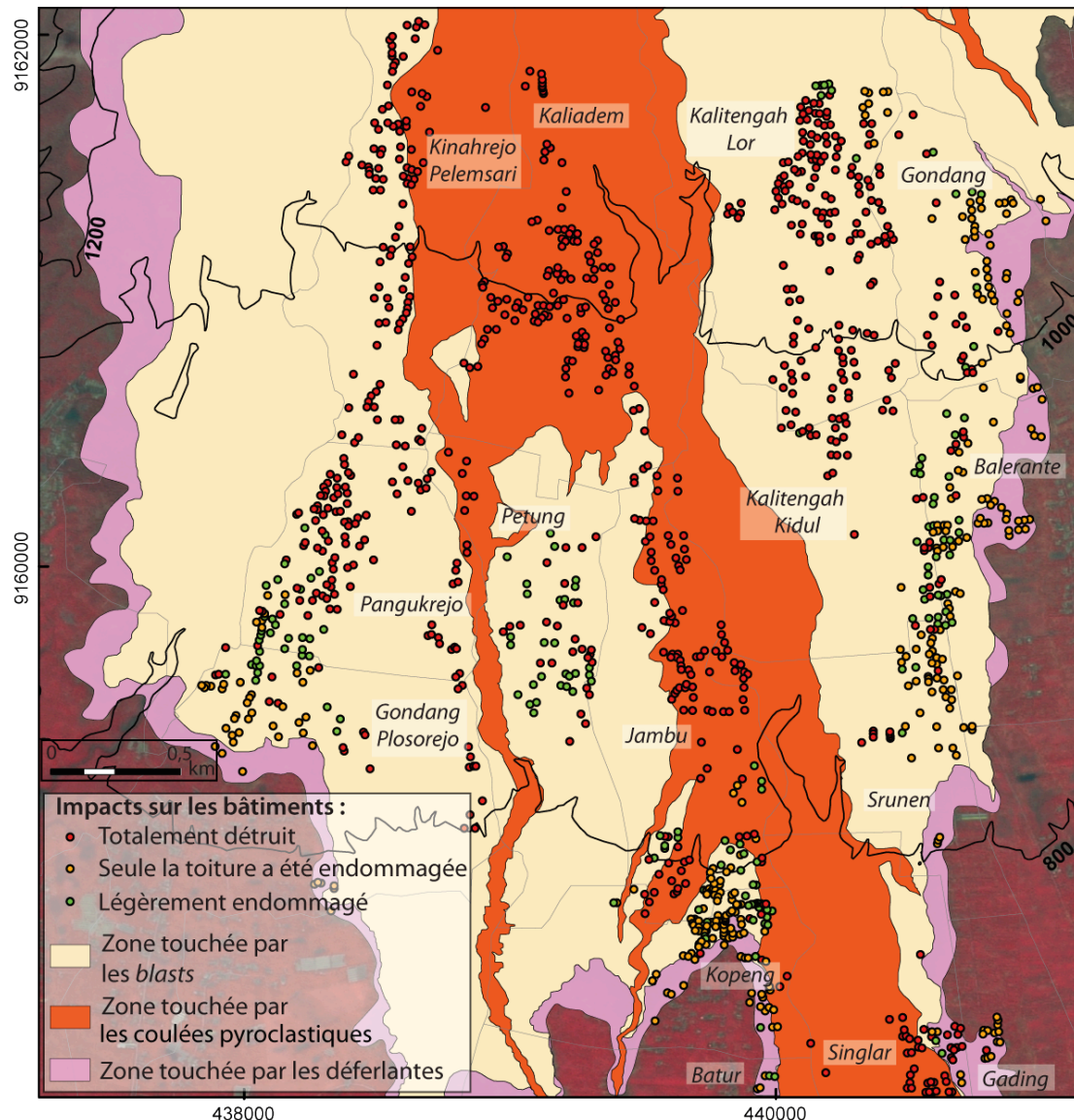


Figure 100. Impacts sur le bâti dus à l'éruption du Merapi de 2010 dans la partie amont de la zone touchée par les écoulements pyroclastiques.

Source : Vidal, 2011 ; Jenkins et al., 2013, modifié

2.2. Les impacts des déferlantes pyroclastiques : la partie aval

Dans la nuit du 4 au 5 novembre, des coulées pyroclastiques parcoururent une distance de 13 à 17 km dans le chenal de la rivière Gendol. De part et d'autre de celle-ci, des coulées pyroclastiques et leurs déferlantes endommagèrent plus de 880 maisons dans 20 *dusun* (Fig. 101 ; Tab. 14). Les villages directement touchés par les coulées pyroclastiques ont été totalement ou en grande partie détruits, comme les *dusun* Kepoh, Gading et Manggong.

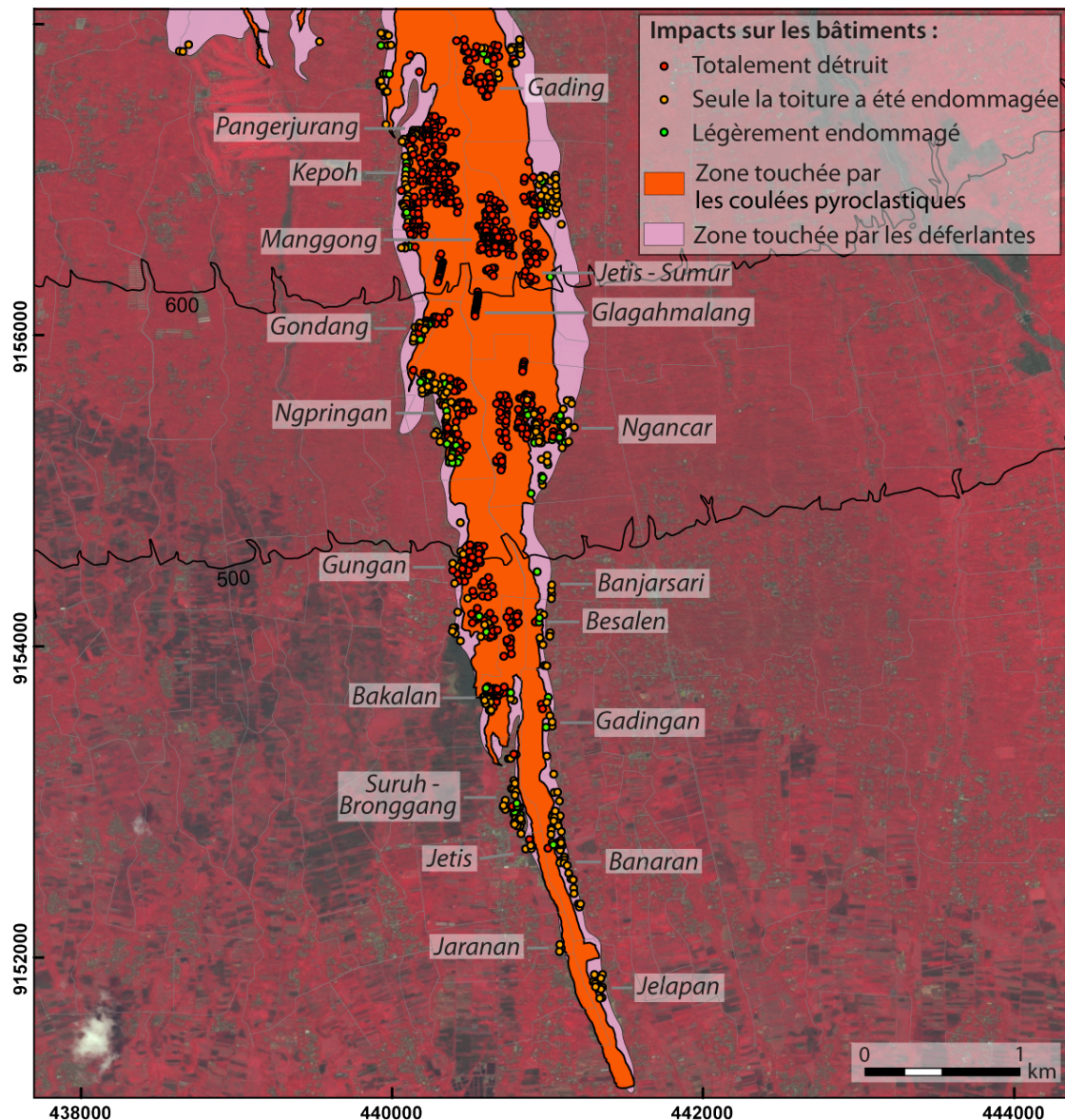


Figure 101. Impacts sur le bâti dus à l'éruption du Merapi de 2010 dans la partie aval de la zone touchée par les écoulements pyroclastiques.

Source. Vidal, 2011 ; Jenkins et al., soumis, modifié.

La figure montre le degré de dommage des édifices causés par les coulées pyroclastiques dans la partie aval. Les bâtiments situés au centre des coulées pyroclastiques ont été complètement détruits. Les édifices touchés par les déferlantes sont en majorité moins impactés, les toitures sont détruites, souvent à partir d'incendies.

Les déferlantes ont d'une pression dynamique moindre, inférieure à 1 kPa, de températures comprises entre 250 et 300 °C (Jenkins et al, soumis) ont touché un grand nombre d'édifices mais avec des impacts de moindre importance. Les maisons les plus

lourdement touchées sont celles dont les ouvertures ont cédées sous la pression ou les missiles. Les matériaux facilement inflammables présents à l'intérieur des maisons (canapés de mauvaise qualité, journaux, essence,...) prirent feu, ce qui provoqua des incendies qui causèrent un écroulement de la charpente du bâtiment voire de sa structure.



Figure 102. Une maison du *dusun* Bronggang brûlée par des déferlantes associées aux coulées pyroclastiques du 5 novembre.

Au premier plan de la photo, l'ancienne étable construite en bambou et ouverte fut totalement détruite par les déferlantes. A droite de la photo, la charpente de la maison a brûlé à cause des portes restées ouvertes au moment de l'éruption et d'une fenêtre cassée. Il en est de même pour la partie gauche de la maison. La charpente de la partie centrale est encore en place, les fenêtres n'ont pas cédées les dégâts sont par conséquent moindres.

<i>Dusun</i>	Bâtiment légèrement détruit	Bâtiment partiellement détruit	Bâtiment totalement détruit	Total des bâtiments impactés
Kepoh	5	19	174	193
Gading	5	43	122	170
Ngancar	19	30	77	107
Manggong	0	0	102	102
Ngpringan	20	37	46	83
Gungan	3	15	61	76
Jetis Sumur	6	26	45	71
Bakalan	8	35	16	51
Suruh Bronggang	4	26	4	30
Pangerjurang	1	17	12	29
Gadingan	4	24	3	27
Banaran	1	20	1	21
Jaranan	0	20	0	20
Gondang	7	9	7	16
Glagahmalang	0	0	16	16
Jelapan	0	15	0	15
Besalen	2	8	2	10
Jetis	0	4	1	5
Banjarsari	1	4	0	4
Cakran	0	3	0	3
Sidosari	0	1	0	1
TOTAL	86	356	689	1050

Tableau 14. Bâtiments endommagés par l'éruption du Merapi de 2010 dans la partie aval de la zone touchée par les écoulements pyroclastiques.

2.3. Impacts liés aux chutes de cendres

Lors de l'éruption de 2010, peu de bâtiments ont été endommagés par les chutes de cendres. Dans la partie ouest du volcan, plusieurs édifices ont été dégradés à cause du poids des dépôts de cendres, mais pas directement, car l'épaisseur des dépôts était insuffisante, ne dépassant jamais 10 cm. Indirectement, les retombées de cendres ont entraîné la chute d'arbres. Avec les pluies, les cendres déposées sur les feuilles des arbres se gorgent d'eau et ce qui décuple le poids de celles-ci, provoque le déséquilibre de ces derniers et parfois leur chute. Ces événements ont causé l'endommagement de plusieurs édifices. Cependant, il n'a pas été possible de recenser précisément le nombre de maisons détruites car lors de cette étude plusieurs chefs de *dusun* répondants aux questionnaires pensaient que nous étions responsables des indemnités qui allaient leur être versées et ils ont surestimé les chiffres. L'étude de terrain a montré que très peu de maisons ont été concerné par ce type de dommages.

2.4. Des éruptions passées beaucoup plus violentes

Peu d'études précises portant sur dommages du bâti lié à des *blasts* ont été menées, mis à part l'éruption de la montagne Pelée en Martinique et la Soufrière de Montserrat. La Première, étudiée par Tanguy (1994) montre que les températures du blast atteignirent 400 °C et la seconde étude montra qu'à Montserrat, elles atteignirent 300 °C (Sparks et al, 2002). Jenkins et al (soumis) estime que l'éruption du Merapi était de moindre intensité que les deux précédemment citées, les températures étaient plus basses (250 à 300°C) et les pressions plus faibles. Ils montrent également que le volume du dôme était inférieur aux deux autres éruptions. Malgré cela, les dégâts sur le bâti furent lourds, en raison de la nature des matériaux de construction qui sont de moindre qualité, des nombreuses ouvertures sur les édifices et de la présence de beaucoup de bois. Tous ces éléments rendent les constructions moins résistantes y compris dans la périphérie des écoulements pyroclastiques, où les déferlantes exercent une pression dynamique faible (1 kPa).

Les pressions dynamiques n'ont été étudiées en détail que sur quelques éruptions, les recherches étant difficiles et car elles nécessitent de connaître le terrain avant l'éruption.

À la Soufrière de Montserrat, les études ont estimé que le *blast* avait généré des pressions dynamiques de 20 à 60 kPa dans les zones complètement détruites (Sparks et al. 2002, Baxter et al., 2005) et jusqu'à 10 kPa dans les zones périphériques (Belousov et al., 2007). Au Mont Saint Helens, l'éruption a montré des records de pression jamais calculés, mais, atteignant jusqu'à 100 kPa, sur plusieurs kilomètres, comparés à la puissance d'une explosion nucléaire (Glasstone et Dolan, 1977).

En comparaison avec l'éruption du Pinatubo aux Philippines, les chutes de cendres n'ont quasiment pas causé de destruction sur le bâti. Lors de l'éruption du Merapi, l'épaisseur des dépôts de cendres maximale atteignit 10 cm dans des zones très localisées, mais généralement plus proche de 5 cm dans la région de Muntilan, à l'Ouest du volcan. Lors de l'éruption du Pinatubo, les cendres déposées dépassèrent les 10 cm sur une surface de 2 000 km² (Nakada, 2000). Les dépôts de cendres gorgés d'eaux apportées par les précipitations liées au Typhon Yunya détruisirent plusieurs dizaines de milliers de maisons.

Komorowski et al (soumis), montre que la superficie touchée par les *blasts* du Merapi de 2010 fut peu importante (Fig. 103) par rapport aux grandes éruptions du siècle dernier. Les blasts touchèrent une surface de 22 km², alors que l'éruption du mont Saint Helens dévasta une surface de 600 km² et celle du Bezymianny, en Russie entre 365 et 500 km² selon les estimations.

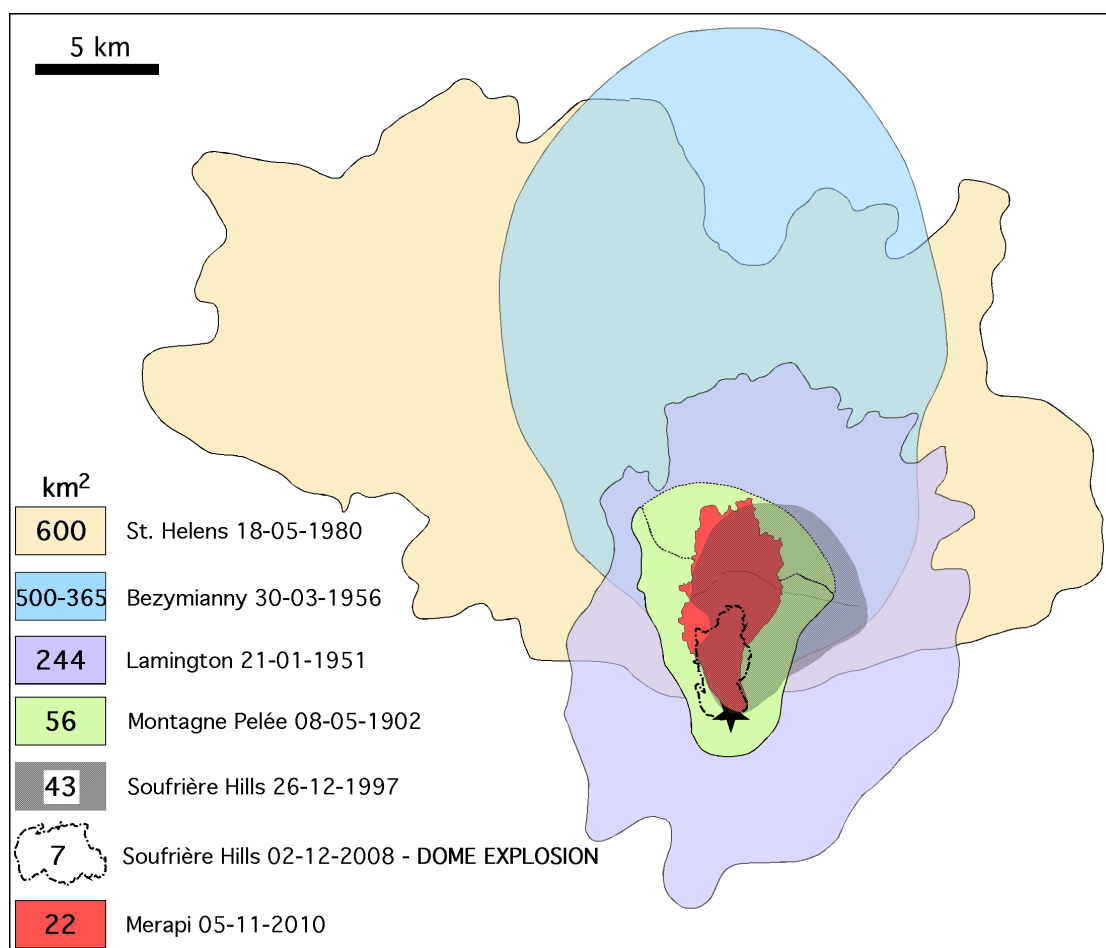


Figure 103. Comparaison des zones dévastées par les blasts des plus fortes éruptions des cent dernières années avec celle du Merapi de 2010. Source : Komorowski et al., soumis.

L'éruption exceptionnelle du Merapi, l'une des plus puissantes depuis 200 ans n'a heureusement pas égalé l'intensité des éruptions du siècle dernier. Il est cependant important de prendre en compte ces autres éruptions pour une future gestion des risques au Merapi.

La zone qui fut la plus touchée par l'éruption, là où le nombre de maisons détruites par *dusun* fut le plus important correspond également à la zone qui fut la plus impactée en termes de têtes de bétail et de récoltes perdues.

3. L'agriculture et l'élevage, activités vitales au Merapi

L'agriculture et l'élevage sont a eux deux les activités économique dominantes sur les flancs du Merapi. L'éruption de 2010 causa de lourdes pertes dans le secteur. Alors que les écoulements pyroclastiques tuèrent un grand nombre de bétail, les cultures subirent en plus des dommages causés par les chutes de cendres émises par le volcan lors de l'éruption.

3.1. Présentation de l'agriculture sur les pentes du Merapi

La répartition spatiale des rizières reflète assez nettement celle des précipitations. Les rizières dominent le paysage dans toutes les zones basses du volcan en dessous de 400 m d'altitude où les précipitations sont importantes.

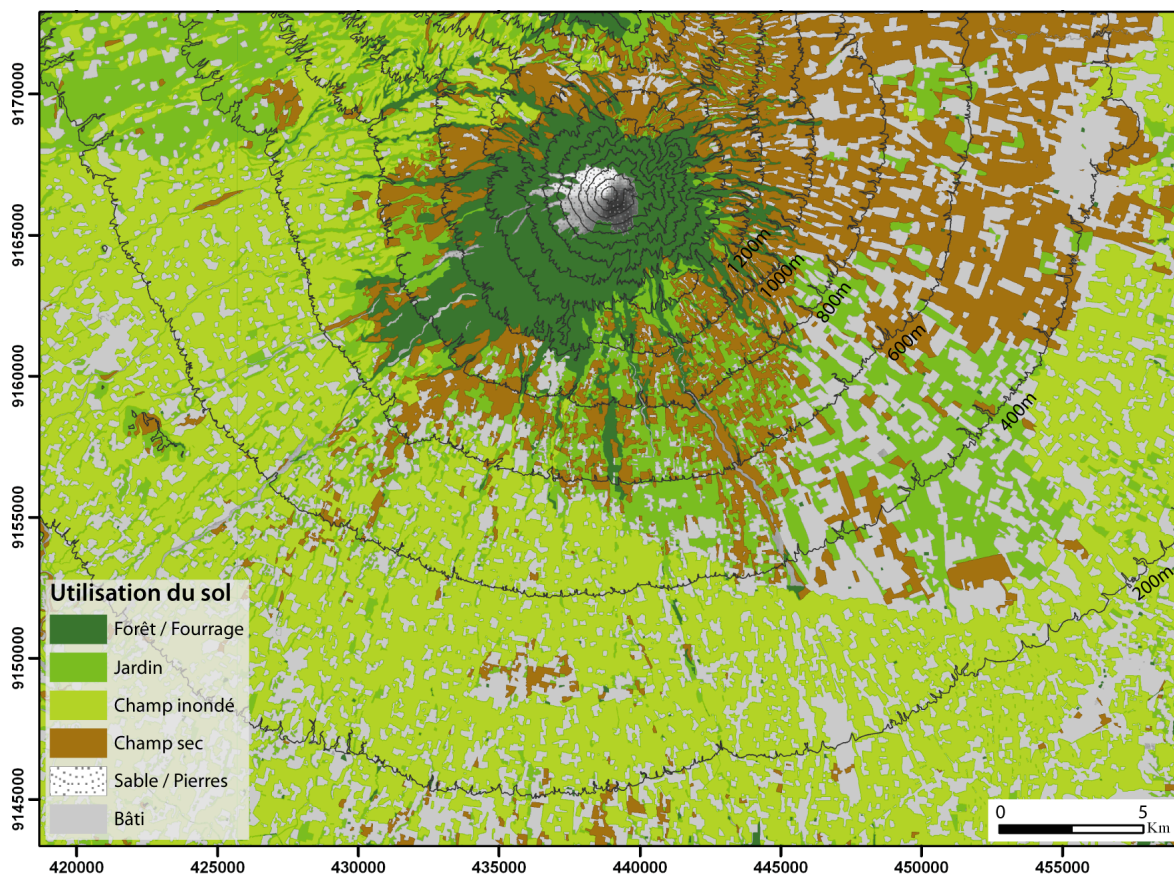


Figure 104. Carte de l'occupation du sol au Merapi (BAKOSURTANAL, 2005 modifié)

Cependant on observe une dissymétrie dans les zones plus élevées entre les versants ouest et est : à l'Ouest et au Sud-Ouest, les rizières montent jusqu'à 1 000 m d'altitude et

couvrent souvent plus de la moitié voire plus des trois-quarts de la superficie communale. En revanche, la rizière monte difficilement au delà de 400 m sur le flanc sud est, plus abrité des pluies et où les infrastructures d'irrigation sont plus sommaires.

Les cultures sèches occupent la même superficie que la riziculture irriguée. Ces cultures sont produites pour l'essentiel - 28 % de la surface totale, soit plus de 26 000 ha - dans des champs non irrigués (*tegalan*) situés principalement sur les parties hautes du volcan, principalement sur les flancs nord, nord ouest et nord est, plus secs. Ces cultures sèches nécessitent moins d'eau et moins d'aménagements pour cultiver les terres sur les versants aux pentes parfois très abruptes. Les champs les plus élevés, au-delà de 1200 m d'altitude) sont destinés à la culture de légumes tempérés (choux, carottes, concombres, tomates) et les plus bas à des produits plus tropicaux, comme le haricot long, le manioc, le piment, l'arachide, et la canne à sucre et aux. Entre les deux, les agriculteurs cultivent du tabac et du maïs destinés à la vente.

Les cultures de jardin (*kebun*) représentent une part non négligeable de la production car la variété des produits cultivés est grande et les rendements atteints sont élevés. Bien qu'une partie de la production soit destinée à la vente, ces cultures sont essentiellement vivrières. A l'exception des *salak* (fruits à peau de serpent) et du tabac, cultivés en plantations, il n'y a pas de grandes plantations ni de grands vergers sur les pentes du volcan. Les villageois possèdent ou louent une parcelle de terre qu'ils cultivent tout au long de l'année essentiellement pour leur consommation personnelle. Les jardins permettent aux agriculteurs de cultiver une grande variété de fruits en fonction de l'altitude sur le volcan : les noix de coco, rambutans, *salak*, sawos, mangues, papayes, bananes, goyaves sont cultivés à basse et moyenne altitude (de 400 à 800 mètres) alors que dans les parties hautes (800 à 1 200 mètres), on cultive l'avocat et le durian, ainsi que le café et le cacao.

La zone étudiée est une région agricole de premier ordre si l'on s'en tient à la variété des productions et à la fertilité des sols. Néanmoins, les répercussions sociales de cette apparente richesse sont très faibles. Du fait de la forte pression démographique, en effet, le niveau de vie des habitants est très bas ; les densités rurales exceptionnellement élevées entraînent un morcellement extrême des exploitations qui sont trop petites (0,3 ha en moyenne) pour nourrir convenablement une famille. L'agriculture étant presque exclusivement vivrière et les exploitations étant souvent cultivées en collectivité, les villageois en tirent peu de revenus.

3.2. Une agriculture lourdement touchée

3.2.1. Par les écoulements pyroclastiques

Dans la zone touchée par les écoulements pyroclastiques tous les types de culture furent détruits. En tout, 59,5 hectares de rizières et 27,8 hectares de champs secs ont été brûlés et/ou ensevelis. Il n'a pas été possible d'estimer la surface des jardins (*kebun*) brûlés à l'aide de l'outil photo-interprétation car ce type de culture se confond sur les images avec la forêt. Dans ce secteur, toutes les récoltes sont perdues et ne peuvent reprendre. Cependant, dans les mois qui suivent l'éruption, une fois les dépôts refroidis, le sol est très fertile et toutes les cultures sèches peuvent permettre de bons rendements aux agriculteurs.

3.2.2. Par les chutes de cendres

Les dommages indirects les plus importants sur la végétation ont été concentrés dans une zone comprise entre Tempel, au Sud-Ouest du volcan, Magelang à l'Ouest, et Selo au Nord. Au Sud, de faibles chutes de cendres ont eu lieu mais elles n'ont pas produit de dommages sur les cultures ni de perte de biomasse. L'épaisseur maximale des cendres observées dans la zone atteignait 10 cm d'épaisseur dans la région de Muntilan et de Kemiren.

3.2.3. Des dommages importants sur le court terme

Les cultures de tomates et de piment ont été les plus touchées par l'éruption. Localisées sur la partie basse des versants ouest et nord du volcan, ces cultures ont reçu les quantités les plus importantes de cendres issues de l'éruption. Les fleurs, fruits et feuilles des pieds de tomates et de piments sont les plus vulnérables aux cendres volcaniques (Wilson et al., 2007). À partir d'un millimètre de cendres déposé, les deux espèces souffrent de l'acidité à tous les stades de développement des pieds et des fruits. Lors de l'éruption, les prix du piment, condiment indispensable de l'alimentation indonésienne, ont explosé passant de 20 000 rupiahs (1,8 euros) à 100 000 rupiahs (8 euros) le kilo sur les marchés locaux. Rapidement le gouvernement a pris des mesures pour faire face à cette inflation en distribuant gratuitement plusieurs milliers de pieds de piments aux agriculteurs de Java.

Dans la partie nord et nord-ouest du volcan, la culture du maïs est très répandue. Les feuilles elles aussi sont très vulnérables à l'acidité des cendres et une fois touchées elles font mourir le plant (Fig. 105). Les jeunes plants sont les plus fragiles ; Les épis, eux, résistent

quand ils ont atteint quatre semaines, car ils sont alors protégés des infiltrations acides par leur enveloppe.



Figure 105. Plantation de maïs détruites par les chutes de cendres sur les flancs Nord-Ouest du Merapi.

L'industrie du tabac a également été frappée par le même phénomène. Les feuilles poilues du tabac piègent les cendres et souffrent du même problème de corrosion due à l'acidité. C'est sur le flanc nord du volcan que se concentre le plus grand nombre de plantations de tabac (Fig. 106). Les feuilles de tabac sont endommagées à partir de un à deux millimètres de cendres.



Figure 106. Plantation de tabac sur le flanc nord du Merapi

Dans la région, les espèces les plus fortement touchées par les dommages à long terme ont été les *salak*. Ce fruit est la spécialité du Merapi ; Il est exporté vers les autres villes de Java et jusque vers d'autres îles de l'archipel. Les plantations de *salak* se trouvent principalement sur les flancs sud-ouest du volcan, dans la zone la plus touchée par les retombées de cendres. Les cendres ont attaqué les feuilles des plants ainsi que les fruits. La récolte a été perdue et les agriculteurs n'ont pas pu cueillir de fruits durant les huit mois suivant l'éruption. À Sleman, 1 400 hectares ont été sérieusement endommagés et 3 000 hectares l'ont été à Magelang (Kabupaten Sleman) Mediaindonesia.

Les cocotiers et bananiers ont également subi des dommages surtout au niveau des feuilles et des palmes en raison de leur taille, mais aussi des branches, ce qui a provoqué la chute des fruits. Des villageois ont signalé que les noix de coco mûres, ramassées après les chutes de cendres, étaient saumâtres et invendables en raison de leur goût amer.

Les manguiers et papayers ont également été touchés plus légèrement. Les tiges de bambou ont été brisées d'un tiers environ, en dessous du haut des tiges, quel que soit leur diamètre.



Figure 107. Bambous et palmiers cassés par les cendres, rizières fortifiées par l'éruption de 2010 dans la région de Muntilan. Cliché : décembre 2010

Non affectés par l'épaisseur de la couche de cendres, les plantes à racines, comme le manioc, la patate douce et le taro sont celles qui ont le moins souffert de l'éruption. Malgré la taille assez importante de leurs feuilles, ces espèces ont survécu à la défoliation. Les racines de ces plantes ont été protégées par la terre dans laquelle elles se développent.

La riziculture est le type de culture le moins touchée par les cendres volcaniques. Au contraire, plusieurs agriculteurs ont constaté des rendements meilleurs dans les mois suivants l'éruption. Les plants de riz précoce ne marquent pas de dommages foliaires et les panicules restent saines après une exposition aux cendres. Dans les rizières où une couche de cendres de plusieurs centimètres s'est déposée, les jeunes plants de riz ont pu pénétrer la couche sans difficulté. Les pertes les plus importantes ont été constatées sur les plants de riz déjà mûrs qui auraient dû être récoltés au moment des chutes de cendres. Wilson et al. (2007) constatent que lors de l'éruption du Merapi en 2006, dans les zones où 15 mm de cendres ont été déposées, 50 % du riz mûr a été perdu, 25 % des jeunes pousses et aucune perte pour les plants en nurserie. Dans certains cas, les tiges non flexibles des plants ont été totalement brisées par le poids des cendres.

3.3. Des pertes de bétail très localisées

L'élevage est l'une des principales ressources pour les habitants du Merapi. Les bovins et ovins sont nourris en étable avec du fourrage récolté dans le parc national du Merapi ou dans des prairies destinées à en produire.

Une partie des terres sèches est utilisée pour l'élevage qui occupe une place économique assez réduite mais non négligeable au Merapi. En 2010, le cheptel s'élevait à plus de 37 700 bœufs, 1 1600 buffles, 28 000 chèvres et moutons, 200 porcs et 100 chevaux. Chaque type d'élevage a une localisation particulière sur les flancs du volcan.

Les buffles se situent exclusivement dans les zones rizicoles car ils sont utilisés comme animaux de trait pour labourer les rizières et non pour leur viande ou leur lait. Les autres bovins sont surtout élevés dans les zones en amont du volcan, proches du parc national du Merapi, là où les fourrages sont abondants et gratuits. C'est un élevage à la fois laitier et d'embouche. Le cheptel caprin et ovin se situe pour l'essentiel sur les hautes terres des flancs oriental et méridional, pour les mêmes raisons que les bovins. On remarque une hiérarchie sociale chez les éleveurs : à nombre de têtes de bétail égal, les plus riches sont les éleveurs de bœufs, suivis des éleveurs de chèvres puis de moutons, les prix à l'abattoir suivant le même ordre.

À Java, sur une île comptant plus de 95 % de musulmans, la production de porcs est tout à fait marginale et dans la zone d'étude, seuls cinq *dusun* sur 542 font de l'élevage porcin.

Les pertes de bétail liées à l'éruption ont atteint 6 715 têtes. Plus de 50 % du bétail tué est localisé dans la zone frappée par les *blasts* des 26 octobre et 5 novembre ainsi que par les coulées pyroclastiques et leurs déferlantes le long de la rivière Gendol (Fig. 108). Les bêtes brûlées intégralement sont mortes sur le coup, celle brûlées partiellement (poumons, peau) moururent dans les heures suivant l'éruption. Quatorze *dusun* furent touchés, chacun ont perdu plus de 140 bêtes. Les autres pertes en bétail sont liées aux la chutes de poids des bovins qui mangeaient des quantités moins importantes de fourrage, en raison de l'interdiction d'accès au parc national du Merapi et également au fourrage couvert de cendres. Même si ces cendres n'étaient pas toxiques pour les ruminants qui sont habitués à ingurgiter jusqu'à 25 % de sol lorsqu'ils se nourrissent dans les pâtures, le bétail n'aime pas ingurgiter des cendres.

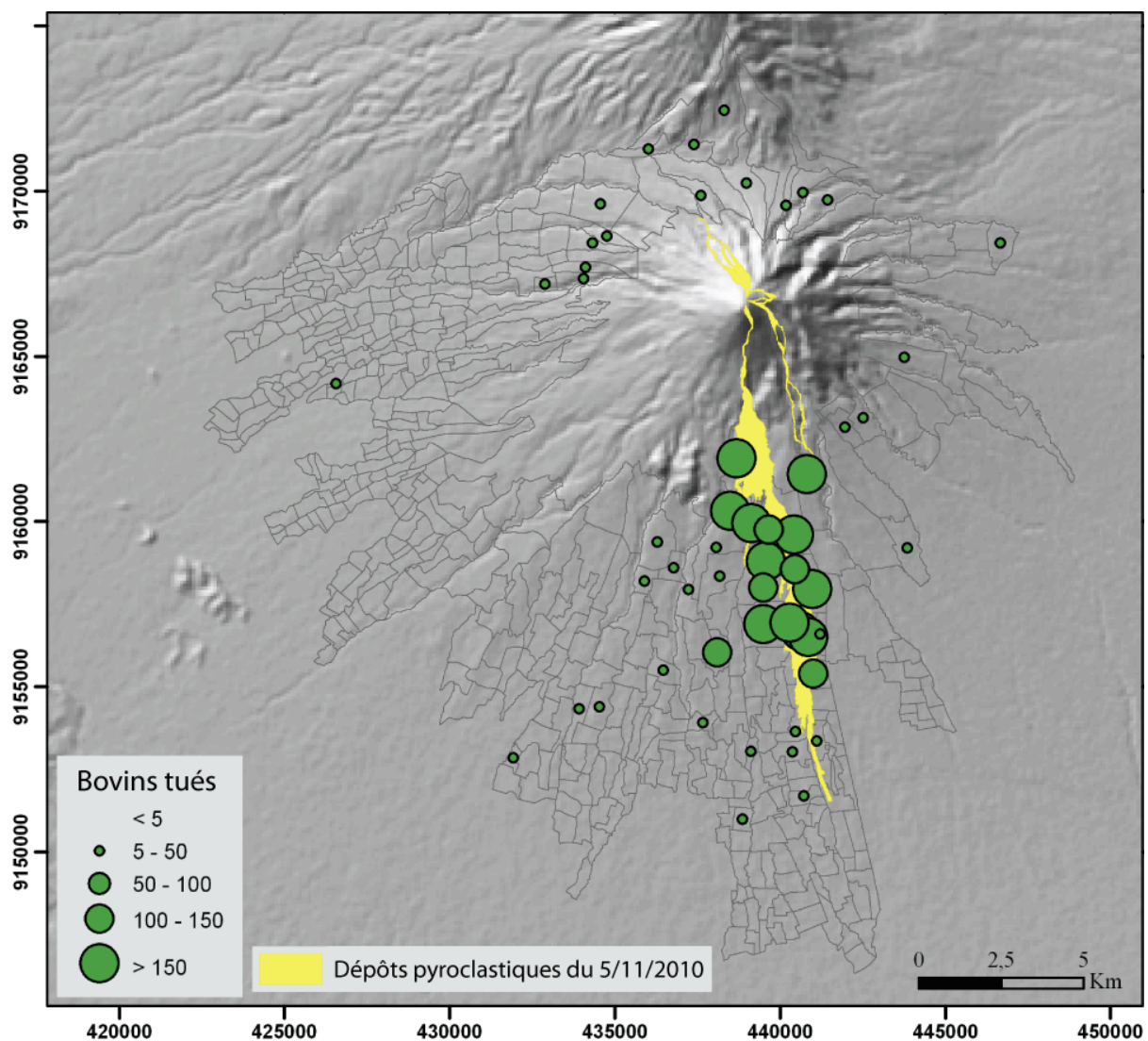


Figure 108. Localisation des bovins tués par l'éruption de 2010.

Afin d'éviter ces problèmes, les agriculteurs ont dû acheter des herbes fraîches provenant d'autres régions, ce qui a eu pour conséquence des dépenses importantes pour les éleveurs, qui nourrissent, en temps normal, leur bétail gratuitement. Une partie des éleveurs qui ne pouvait pas acheter la nourriture pour leur bétail ont vendu les bêtes à bas prix en raison de la perte de poids des ces dernières. En temps normal, le prix d'un bœuf varie entre 7 et 10 millions de rupiah (580 à 830 euros), au cours de la période d'évacuation, les prix ont chuté à 5 millions de rupiah (420 euros), soit une baisse du prix de 50 % (Mei et al., soumis).

Lors de l'éruption de 2010, pour la première fois au Merapi, un système d'évacuation du bétail a été mis au point afin de sauver le bétail potentiellement menacé par l'éruption et surtout pour éviter aux éleveurs de faire des allers retours dans les zones évacuées pour nourrir les bêtes. Mais ce système était encore en cours de développement puisque le maximum de bétail évacué et recensé atteignit 10 230 bêtes (BNPB, *Laporan Harian*) alors que 72 047 n'avaient pas été évacuées. Le bétail évacué fut installé dans 193 points de rassemblements (64 à Sleman, 64 à Klaten, 53 à Boyolali et 12 à Magelang) pouvant accueillir chacun un nombre limité de bêtes (Figure 109). Cette mesure eu un coût important pour les éleveurs et certains ont préféré ne pas évacuer leurs bêtes. Il était demandé, pour un bœuf, 80 000 rupiah (7 euros) pour l'évacuer et 25 000 rupiah (2 euros) par jour pour le fourrage et l'eau.



Figure 109. Point de rassemblement pour le bétail évacué (Maguoharjo, Sleman)

L'évacuation du bétail est une avancée dans la gestion de l'évacuation car sans cette organisation, de nombreux éleveurs refusent d'évacuer pour s'occuper de leur bétail (Mei et al., soumis) ou, s'il ont accepté de partir, logent dans les camps de réfugiés et reviennent en journée dans leurs villages pour nourrir les bêtes. Les plans d'évacuation devraient prendre en compte l'organisation de l'évacuation du bétail et le gouvernement local devrait la financer au même titre que celle des villageois. Cela réduirait ce facteur de vulnérabilité de façon significative chez les éleveurs.

3.4. Des éruptions plus destructrices

Malgré l'intensité de l'éruption, les dommages dans le secteur agricole ont été moins importants que ceux des grosses éruptions de ces cent dernières années. Les *blasts* ont été orientés vers le Sud, ils ont dévasté une zone de 22 km². En comparaison, les éruptions de la Soufrière de Montserrat de 1997 a touché une surface de 43 km² et celle de la montagne Pelée de 1902, 56 km² (Belousov et al., 2007 ; Komorowski et al., soumis). Les chutes de cendres de l'éruption du Merapi de 2010 ont touché une zone plus importante, ce qui a ralenti l'activité agricole sur les flancs du volcan, cependant les récoltes suivantes ont été fertilisées par ces mêmes cendres. Au Pinatubo, l'éruption de 1990 a eu des conséquences désastreuses sur l'agriculture car l'épaisseur des dépôts de cendres atteignit 25 cm sur une surface de 96 200 ha (Paladio-Melosantos et al., 1996). Au Merapi, les dégâts liés aux cendres n'eurent pas les mêmes conséquences car l'épaisseur des cendres n'atteignit que 10 cm dans des zones très localisées.

À l'échelle du volcan et à moyen terme, on peut estimer que l'éruption a eu des conséquences positives sur l'agriculture du Merapi. A chaque éruption, de nombreux agriculteurs constatent une augmentation de la fertilité des sols. Cronin et al (1998 ; 2003) a montré que les chutes de cendres avaient des effets bénéfiques sur la fertilité des sols en y apportant des sulfures et du sélénium (Fig. 110).

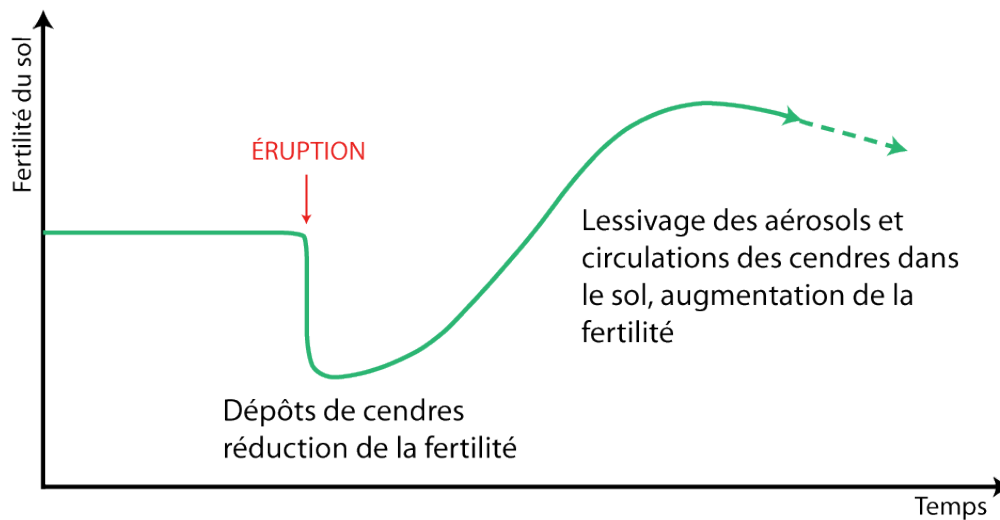


Figure 110. Réponses de la fertilité des sols estimée par des agronomes indonésiens.

Source : Wilson et al. 2007 modifié.

Le graphique montre une baisse de la fertilité au moment de l'éruption, mais dès que les sols commencent à être lessivés par les pluies, les sédiments apportés par les cendres augmentent la fertilité.

Dans la bibliographie, lors d'éruptions volcaniques, il n'a été constaté que rarement des évacuations préventives de bétail. Lors de l'éruption de 1991 du volcan Hudson, au Chili, 5 000 bovins furent évacués ainsi que 3 000 ovins. Une évacuation plus importante fut observée également au Chili, lors de l'éruption du volcan Chaiten de 2008 qui provoqua le déplacement de 20 000 bêtes (Wilson et al., 2012). Dans l'ensemble les évacuations de bétail de grande ampleur restent encore peu développées et il est encore difficile d'organiser l'évacuation de plus de 80 000 bêtes, comme cela aurait été nécessaire au Merapi en 2010.

En Islande, au moment de l'éruption du volcan Eyjafjöll en avril 2010, le bétail a risqué l'empoisonnement en raison de sels de fluorure présents dans les cendres qui s'étaient déposées sur le fourrage et qui étaient hautement toxiques (Baxter, communication personnelle). Cronin et al. (2003) déterminèrent que lors de l'éruption du volcan Ruapehu, en Nouvelle Zélande, la Fluorine fut responsable de la mort de plus de 2 000 têtes de bétail. Les bêtes commencèrent à mourir neuf jours après une épaisseur de cendre déposée de seulement 1 à 3 millimètres, et continua de tuer pendant 7 à 10 jours. Contrairement aux éruptions du volcan Eyjafjöll ou Ruapehu, le bétail tué par l'éruption du Merapi ne fut pas empoisonné par des sels de fluorure, mais directement brûlés par les écoulements pyroclastiques.

4. Le secteur du tourisme particulièrement impacté

La ville de Yogyakarta, centre culturel de Java, est la ville la plus touristique de l'île. Pour les Indonésiens, l'ancienne capitale du royaume de Mataram est reconnue historiquement pour son *Kraton* qui abrite le Sultan Hamengkubuwono X, descendant de la dynastie des sultans qui a régné sur l'empire de Mataram à partir du VIII^{ème} siècle (Lombard, 1990 ; Ricklefs, 1974). Le père du sultan actuel était très populaire car il a été l'un des acteurs de la lutte pour l'indépendance de l'Indonésie en 1945, contrairement au sultan de Surakarta, seconde capitale de l'ancien royaume de Mataram, qui avait fait allégeance aux colons hollandais. Yogyakarta a été également la capitale du pays entre la déclaration d'indépendance en 1945 et la signature de l'indépendance en décembre 1949. Première ville étudiante d'Indonésie, avec plus de 25 universités, elle est connue pour être peu chère et très dynamique. Les cars de touristes affluent dans la rue Malioboro, réputée pour son grand marché, ses *batiks* et ses souvenirs en tout genre et à bas prix. La clientèle d'affaires indonésienne apprécie également le confort à coûts réduits des hôtels internationaux (Novotel, Sheraton, Hyatt, Aston,...) ainsi que la situation de la ville, au centre de Java, pour y faire des conférences et des séminaires. Au niveau international, la ville est célèbre pour ses deux sites archéologiques classés au patrimoine mondial de l'UNESCO, Borobudur et Prambanan, qui attirent chacun plusieurs milliers de visiteurs par an. Mais cet attrait pour les touristes est très dépendant de la promotion pour la ville faite sur les chaînes de télévision nationales.

L'éruption du Merapi de 2010 fut surmédiatisée dès les premiers jours, avec la mort de Marijan, le gardien du volcan. Toutes les chaînes de télévision indonésiennes envoyèrent plusieurs équipes à Yogyakarta et certaines diffusèrent des interviews et des images en direct quasi-continuellement durant les deux premières semaines de l'éruption. En raison de cette surmédiatisation de la catastrophe, toute l'Indonésie fut choquée et captivée par ces images, ce qui a gravement nuit à l'activité touristique de la région de Yogyakarta.

4.1. La crise hôtelière

Dès le début de l'éruption et de sa médiatisation, le 26 octobre 2010, le taux d'occupation des hôtels baisse fortement. Cependant, ce ne sont pas les touristes qui ont le plus déserté la ville mais les hommes d'affaires.

Toutes les conférences prévues pour la fin du mois d'octobre et les mois suivants ont

été alors annulées et par conséquent, les réservations de chambres d'hôtel aussi.

En comparant le nombre de chambres occupées durant les années 2010-2011 et 2009-2010, on peut observer trois phases distinctes durant la crise (Fig. 111).

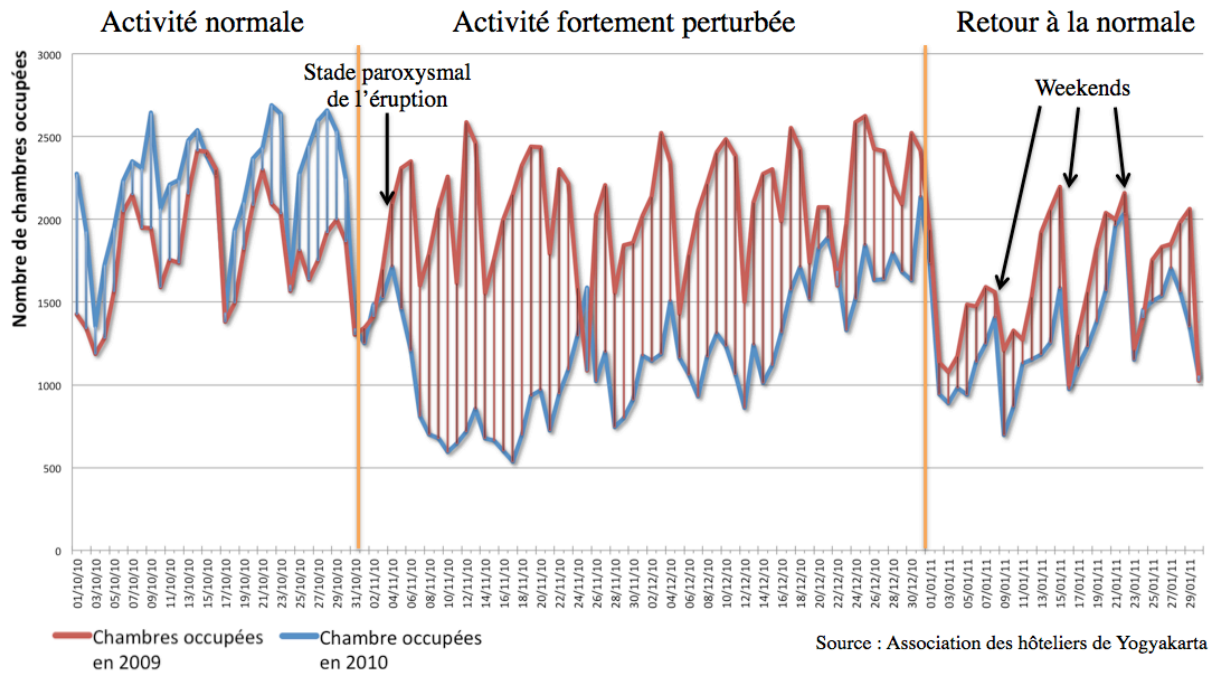


Figure 111. Impacts de l'éruption sur l'occupation des hôtels de 3 à 5 étoiles de Yogyakarta
(Source : association des directeurs d'hôtels de Yogyakarta).

La première, qui débute avant l'éruption, s'achève le 31 octobre 2010. A Yogyakarta, octobre et novembre ne sont pas des mois de haute saison touristique mais les mois les plus prisés pour les affaires. Cette période est privilégiée pour organiser des séminaires sur plusieurs jours dans les salles de conférences des hôtels. Lors de ces conférences, les participants occupent un grand nombre de chambres et y mangent en demi-pension voir en pension complète. Quand les premières nuées ardentes apparaissent le 26 octobre, tous les médias font leur Une sur la mort du gardien du volcan et diffusent des images des villages complètement rasés par le *blast* du 26 octobre. Des conférences et séminaires ont lieu dans les différents hôtels de Yogyakarta, mais comme les chambres sont déjà payées et les conférenciers déjà réunis, l'annonce de l'éruption n'a pas d'impact immédiat sur le taux de remplissage des hôtels. Le mois d'octobre 2010 montre même une hausse de 21 % par rapport à 2009 du nombre de chambre d'hôtels occupés dans les hôtels de 3 à 5 étoiles, soit près de 12 000 chambres supplémentaires.

La seconde phase commence dès le 1^{er} novembre après l'annulation de toutes les réservations des clients d'affaires des hôtels lors du week-end du 31 octobre et., Dans la nuit du 4 au 5 novembre, au stade paroxysmal de l'éruption, l'aéroport Adisucipto de Yogyakarta interrompt son activité (chapitre V). La clientèle d'affaires et les touristes ne peuvent alors plus se rendre à Yogyakarta par les airs. Novembre est donc le mois le plus perturbé par la crise avec une baisse de 50 % de l'occupation des hôtels soit près de 30 000 réservations de chambres en moins par rapport à 2009. Le mois de décembre marque également une forte baisse de fréquentation des hôtels avec 35% de chambres occupées de moins qu'en 2009.

La troisième phase correspond au retour partiel à la normale à partir du 1^{er} janvier 2011. La forte baisse d'activité des hôtels du 2 janvier est marquée par la fin des vacances de Noël et par le début des examens dans les universités. Le cycle de l'activité reprend au 1^{er} janvier, stimulée par les nombreuses publicités gouvernementales destinées à relancer le tourisme à Yogyakarta en tentant de rassurer les vacanciers indonésiens. La figure 111 montre un déficit du nombre de chambres occupées les jours de semaine en janvier 2011 par rapport à janvier 2010. Cela suggère que la clientèle d'affaires n'est pas revenue. En revanche, le nombre de chambres occupées pendant les week-ends par les touristes indonésiens est quasi égal en janvier 2010 et en janvier 2011.

Au total, entre le 1^{er} novembre 2010 et le 31 janvier 2011, les hôtels ont subi un déficit de 63 703 chambres par rapport à l'année précédente. D'après l'association des hôteliers de Yogyakarta, les perturbations ont continué jusqu'en mars 2011. Durant la baisse d'activité liée à l'éruption, les hôtels ont réduit leurs effectifs en personnels en cessant d'employer du personnel intérimaire. Cela correspond à une réduction de 25 à 50 % de leurs salariés. Et pour palier la crise et surtout l'après crise, les hôtels ont dû baisser les prix de leurs chambres, jusqu'à plus de 50%. Certains hôtels 4 étoiles ont proposé des chambres à des prix inférieurs à ceux des hôtels 3 étoiles. Cependant, il n'est pas possible de chiffrer ces pertes, chaque hôtel et groupe hôtelier ne souhaitant pas communiquer ses chiffres.

Peu de données ont été publiées sur les impacts d'éruptions sur le tourisme et notamment sur l'hôtellerie. L'éruption du Mont Saint Helens de 1980 montra les mêmes réactions du point de vue touristique et pour la clientèle d'affaire. Quand l'éruption commença, les séminaires et conférences qui devaient avoir lieu dans les hôtels voisins du volcan, dans l'état de Washington, furent annulés, ou reportés à une date ultérieure ou

délocalisés dans d'autres états. Il en fut de même pour les touristes de loisir qui annulèrent leurs séjours dans les resorts (Tilling et al, 1990).

La mauvaise publicité que subit la région du Merapi au moment de l'éruption et dans les mois suivants eut également des conséquences sur l'activité du Merapi Golf, fréquenté par les mêmes clients d'affaire que les hôtels 3 à 5 étoiles de Yogyakarta.

4.2. Le Merapi Golf durement touché

4.2.1. Un enjeu économique de premier ordre.

Le *Merapi Golf* est situé à huit kilomètres du sommet du volcan dans la zone KRB II. Il est bordé à l'Est par la rivière Opak, l'une des 8 rivières les plus exposées aux lahars d'après la carte d'aléa publiée par le BPPTK en 2006. Il est doté d'un parcours de 18 trous de standard international et couvre une surface de 67 hectares. Le *Merapi golf* est facilement accessible de Yogyakarta : trente minutes suffisent pour relier le centre ville au green. Cette proximité fait du golf un lieu prisé par les hommes d'affaires pour y mener leurs activités tout en se distrayant. Il est ainsi souvent fréquenté par le Sultan de Yogyakarta qui compte parmi les hommes d'affaires les plus importants de la région. Le golf est régulièrement loué pour une durée d'une demi journée à deux jours par le Sultan, des organismes gouvernementaux (armée, *bupati*,...) ou privés (différentes banques, assurances, etc.) afin d'y organiser des tournois, pour y conclure des affaires ou divertir leurs employés.

D'après la direction du golf, 70% des joueurs sont indonésiens mais extérieurs à la province de Yogyakarta. Le taux de joueurs étrangers ne représente que 5% des joueurs sur l'année. On distingue deux types de clients : Les détenteurs de carte de membres et les joueurs occasionnels. Les membres bénéficient d'un abonnement annuel de 1 000 à 3 000 dollars, pris en charge par leurs employeurs (gouvernement, entreprises, banques,...) qui leur donne accès au green d'une dizaine de golfs indonésiens et leur offre des tarifs préférentiels. En 2010, les membres payaient 450 000 rupiahs (38 euros) pour accéder au green et les non membres entre 500 000 et 650 000 rupiahs (42 à 54 euros), le prix variant en fonction des jours de la semaine, des jours fériés ou vacances scolaires. De plus, les joueurs doivent être accompagnés sur le parcours d'un caddy, qui coûte 50 000 rupiahs (4 euros) pour la journée. Lors de l'organisation de tournois, le golf facture 70 millions de rupiah la demi-journée (5 800 euros) et 100 millions de rupiah la journée (8 300 euros). Entre le 1^{er} novembre et le

20 décembre 2009, quatre tournois d'une journée avaient été organisés.

Au niveau local, le Merapi golf est un gros employeur : 95% du personnel est originaire du *kecamatan* Cangrangan ; 260 personnes sont employées comme caddies et 200 comme jardiniers.

4.2.2. Des pertes record

L'activité du golf a été fortement touchée dès les premiers signes de l'éruption car le golf se situe à moins de 10 km du volcan. Par conséquent, quand le niveau d'alerte 3 est annoncé le 21 octobre par le centre de volcanologie, la direction du golf décide de le fermer. Quatre jours après, le 25 octobre, l'ordre d'évacuation de la zone est donné, interdisant l'accès au golf et obligeant les employés à se réfugier dans les camps situés plus loin du cratère sommital.

Sur le plan matériel, la partie la plus en amont du golf a été touchée par les *blasts* et déferlantes des coulées pyroclastiques qui ont dévalé les flancs du Merapi dans la vallée de la rivière Opak (Fig. 112) le 5 novembre. Cependant, le green n'a pas subi de gros dégâts, seul quelques cactus et arbres ont été brûlés ainsi qu'une partie de l'herbe sur une surface d'environ 12 hectares. Seuls 12 des 460 employés habitaient dans les zones non évacuées. Par conséquent, la majorité des employés étaient dans les camps de réfugiés au moment de la fermeture du golf.

L'éruption a été cependant catastrophique pour le chiffre d'affaires du golf. En 2009, 25 660 personnes étaient venues jouer sur le green du Merapi Golf ; En 2010, seul 18 536 clients l'ont fréquenté soit 7 124 joueurs en moins qui ont entraîné une perte de près de 28 % du chiffre d'affaire.

Sur le plan financier, les pertes sont estimées à 3,4 milliards de rupiahs (environ 280 000 euros) correspondant au manque à gagner sur les entrées, auxquelles il faut ajouter un déficit de 400 milliards de rupiahs (33 300 euros) lié aux tournois qui n'ont pas pu avoir lieu, soit une perte totale de plus de 310 000 euros. De plus, ces calculs ne prennent pas en compte les locations de voitures de golf (17 euros par jour), qui sont facultatives et les impacts sur les abonnements annuels vendus aux entreprises et au gouvernement.

L'activité du golf a repris le 20 décembre après un nettoyage du green, même si une partie de la végétation brûlée était encore visible. L'éruption peut encore avoir des conséquences sur le golf dans les années à venir. Les signes de premiers lahars post-éruptifs

présents dans la rivière Opak font peser le risque d'une érosion des berges et donc de la partie nord et est du green. Dans le cas où des lahars de forte intensité se produiraient, on peut également s'attendre à un débordement sur la partie nord-est du court.

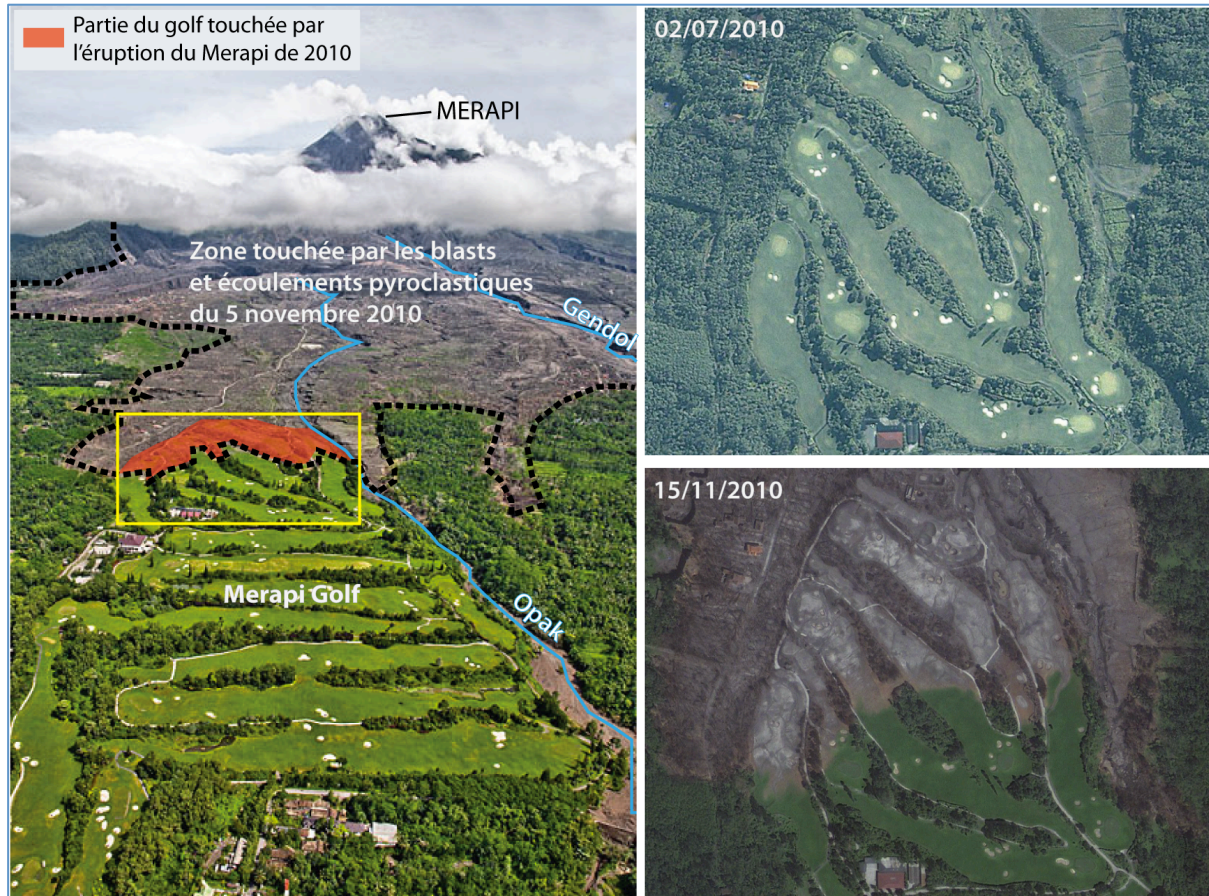


Figure 112. Le Merapi Golf, épargné de justesse par l'éruption de 2010.

A gauche, le golf, situé à la limite de la zone touchée par les écoulements pyroclastiques du 5 novembre 2010. La zone rouge correspond à la partie nord du golf, où toute la végétation fut brûlée. Cliché : Leonard Adam, janvier 2011.

À droite, les images satellites montrent la partie du golf impactée par l'éruption. La couleur grise de la deuxième image montre la partie du golf qui fut brûlée par l'éruption. La première est une image Ikonos du 2 juillet 2010 et la seconde, une image Geoeye du 15 novembre 2010.

4.3. Le patrimoine mondial menacé par la catastrophe

L'activité des principaux sites touristiques de la ville de Yogyakarta, Borobudur et de Prambanan a été très perturbée par l'éruption du Merapi.

Le premier, Borobudur, est le plus grand monument bouddhique du monde. C'est un

immense mandala de 34,5 mètres de haut, construit en pierre volcanique entre le VIII^{ème} et le IX^{ème} siècle de notre ère. Il est le lieu touristique le plus visité de l'île de Java. Le second, Prambanan, est le plus important groupe de temples hindouistes d'une zone où se situent des dizaines d'autres temples. Ceux-ci ont été édifiés au IX^{ème} siècle pour contrer la dynastie fondatrice de Borobudur. Ils témoignent du bras de fer politico-religieux entre le bouddhisme et l'hindouisme au XI^{ème} siècle à Java.

La plupart des touristes étrangers de passage à Yogyakarta prennent un tour qui combine la visite des deux temples alors que les touristes indonésiens ne visitent souvent que Borobudur. La faible popularité des temples de Prambanan s'expliquerait partiellement par une légende selon laquelle les visiteurs qui y viennent en couple risquent une rupture imminente. Cette légende était prise au sérieux par la direction des temples de Borobudur – Prambanan lors des recherches réalisées pour cette étude.

Le nombre d'entrées des deux temples est considérablement différent : en 2009, un peu plus d'un million de personnes avaient visité les temples de Prambanan alors que plus de 2,5 millions de visiteurs étaient entrés à Borobudur. Pour les deux temples, la grande majorité des visiteurs est nationale, les Indonésiens représentent 94 % des visiteurs de Borobudur et 88% des visiteurs des temples de Prambanan.

L'éruption n'a pas touché directement ces deux sites touristiques. Toutefois, le temple de Borobudur est situé à l'Ouest du Merapi, dans la zone où les chutes de cendres ont été les plus importantes. À la suite de l'éruption du 5 novembre, a été mesuré une épaisseur de cendres de 1 à 2,5 cm sur le mandala (Fig. 113). Les cendres acides pouvant altérer les pierres constituant le mandala, la direction du site de Borobudur a décidé d'en fermer l'accès aux visiteurs du 5 au 9 novembre 2010. Une grande opération de nettoyage a été entreprise le 5 novembre, qui dura jusqu'au 8 novembre. Le 9 novembre le site ouvre de nouveau ses portes mais une partie du mandala reste inaccessible en raison de la poursuite des travaux de nettoyage du système de drainage du site, obstrué par les cendres. Ces travaux durent quatre mois et le gouvernement indonésien débloque 1,5 milliard de rupiah (125 000 euros), aidé par l'UNESCO pour les financer.

Les temples de Prambanan quant à eux, ont souffert d'une part de la médiatisation de la catastrophe, qui a effrayé les touristes locaux et d'autre part, de la fermeture de l'aéroport, principal moyen d'accès à la ville de Yogyakarta pour les touristes. Les temples de Prambanan sont situés au bord de la rivière Opak, dans laquelle se jette la rivière Gendol

quelques kilomètres en amont des temples. Elle est l'une des principales rivières menacée par les lahars.



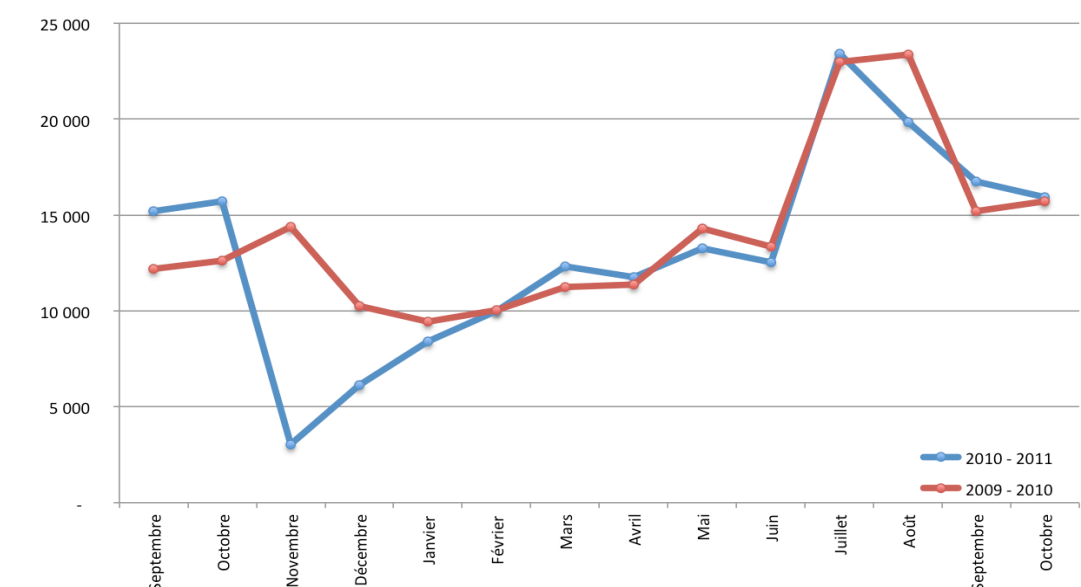
Figure 113. Le temple de Borobudur recouvert par les cendres du Merapi.
Cliché : Hasan Sakri Ghozali et Tribunews du 7/11/2010.

Dès le mois d'octobre, le nombre d'entrées aux temples de Prambanan diminue. Mais c'est en novembre 2010 que la baisse est la plus importante, la direction du temple enregistre une baisse de 91 % du nombre d'entrées avec 12 300 entrées contre 130 100 en 2009. Au mois de décembre, la proportion entre le nombre d'entrée de 2009 et de 2010 diminue et atteint 42 %, mais le déficit du nombre d'entrées est plus important car le temple comptabilise 135 100 entrées en moins qu'en 2009. En janvier 2011, les touristes étrangers sont revenus et le nombre d'entrées avoisine celui de 2009 (Fig. 114) mais la baisse du nombre d'entrées de visiteurs indonésiens est toujours considérable puisqu'il a encore près de 130 000 visiteurs de moins qu'en janvier 2010. En avril 2011, le temple de Borobudur

enregistre encore une forte baisse d'activité par rapport à 2010 avec 54% de clients en moins. La fréquentation du parc revient à la normale au mois d'octobre 2011, soit un an après l'éruption, en enregistrant une hausse de 9% de touristes.

A Prambanan, la baisse du nombre de visiteurs a commencé au moment de la fermeture de l'aéroport, en novembre 2010 et l'activité a repris au mois de janvier 2011. Au mois de novembre 2010, la fréquentation du parc chute de 63% par rapport à 2009 et au mois de février 2011, elle est à nouveau supérieure à celle de l'année passée.

A - Visiteurs étrangers



B- Visiteurs locaux

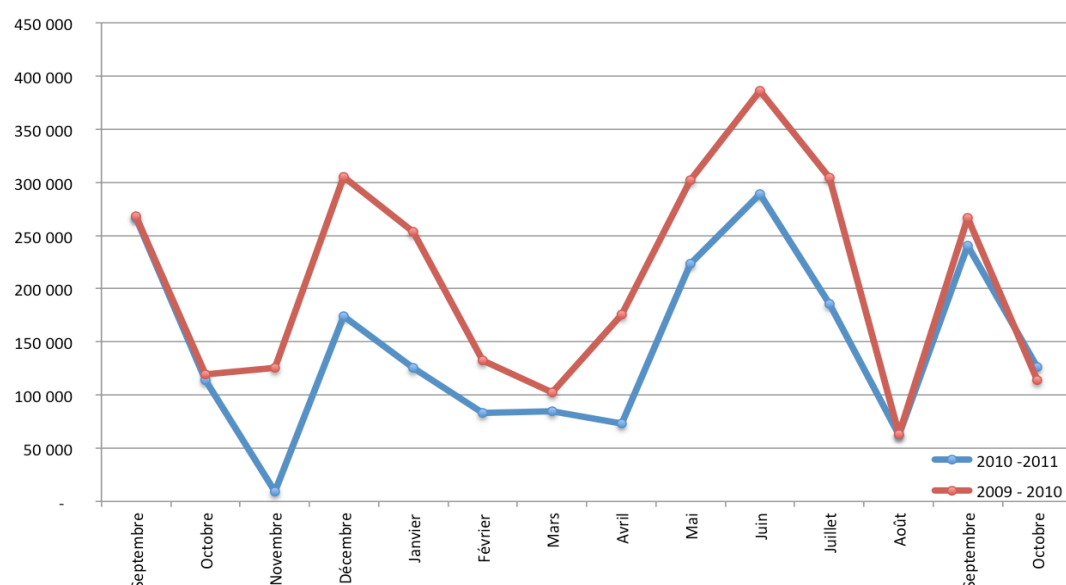


Figure 114. Différence du nombre d'entrées au temple de Borobudur pour les années 2010 et 2011 et les années 2009 et 2010.

En se basant sur les données de fréquentations et sur la grille tarifaires des deux sites, il a été possible de faire une estimation des pertes subies par la société.

La grille tarifaire des prix d'entrée du temple de Borobudur et de ceux de Prambanan est très complexe. Tout d'abord le prix diffère pour les Indonésiens et les résidents en Indonésie de celui appliqué pour les étrangers de passage. Puis trois prix sont appliqués en fonction de réduction éventuelles (étudiants, enfants ou plein tarif) et trois encore en fonction du jour de l'année (jour de semaine, week-end, vacances ou jour férié). Pour l'estimation de la perte financière subie pour le temple de Borobudur, il a été calculé un prix moyen de 17 000 rupiahs (1,40 euros) pour les visiteurs Indonésiens et 130 000 rupiahs (11 euros) pour les visiteurs étrangers. Pour l'accès aux temples de Prambanan, les prix sont légèrement moins cher, les indonésiens payent en moyenne 16 000 rupiahs (1,30 euros) et les étrangers 110 000 rupiahs (9,15 euros).

Il en résulte que le temple de Borobudur a subi une perte de chiffre d'affaires estimée à 16,8 milliards de rupiah, soit 1,4 million d'euros entre les mois d'octobre 2010 et octobre 2011. Aux temples de Prambanan, la perte est plus faible en raison de la différence de fréquentation du parc en temps normal, des prix d'entrée plus faibles et de l'absence de jours de fermeture du parc au moment de l'éruption. Entre novembre 2010 et janvier 2011, la perte de chiffre d'affaire est estimée à 2,4 millions de rupiah soit 197 000 euros.

Cependant, ces calculs ne prennent pas en compte l'ensemble des pertes car une partie du manque à gagner n'a pas pu être calculé : les places de parking variant de 3 000 rupiahs (0,25 euro) pour une moto à 15 000 rupiahs (1,25 euro) pour un bus et 50 000 rupiahs (4,20 euros) pour le droit de prendre des photos. De plus la baisse d'activité des temples a des conséquences importantes sur l'économie des villages voisins : à la sortie des temples, une centaines d'échoppes de souvenirs font vivre autant de familles ; plusieurs dizaines de guides officiels travaillent aux temples et facturent la visite 60 000 rupiahs soit 5 euros ; plusieurs hôtels entourent les parcs des temples et dépendent de l'activité de celui-ci ; enfin, de nombreux parkings informels sont présents à l'extérieur des sites et emploient quelques dizaines de personnes.

Alors que les principaux sites touristiques de la région subirent de lourdes pertes financières dans les mois qui suivirent l'éruption, le tourisme de catastrophe se développa et attira des milliers de visiteurs sur les flancs du volcan.

4.4. Développement du tourisme de catastrophe

Sur le flanc sud du volcan, les habitants ont bénéficié de la médiatisation de l'éruption pour développer une activité économique de substitution afin de repartir en développant le tourisme de catastrophe dans les zones dévastées.

Dès la réouverture des routes d'accès aux flancs du Merapi marqué par la fin de l'ordre d'évacuation, les villages frappés par l'éruption ont fermé l'accès aux zones dévastées pour éviter le pillage des maisons où il restait des objets intacts. Très vite, les habitants vivant s les villes voisines du Merapi se sont rendus vers les villages touchés par l'éruption. Les touristes étaient nombreux à venir constater les dégâts vus à la télévision (maisons et voitures brûlées, dépôts de cendres fumants et blocs de plusieurs mètres déposés par les coulées) et pour se prendre en photo sur les lieux de la catastrophe pour les publier sur les réseaux sociaux (twitter, facebook, etc.). Les villageois ont alors installé des barrières et font désormais payer le parking des motos et voitures de ces nouveaux touristes. Des associations de jeunes de villages se sont proposées comme guides contre une rémunération à discrétion pour financer les reconstructions. Dans la semaine suivant la réouverture de la zone aux habitants, des endroits de ce type se sont développés, surtout en aval de la rivière Gendol. Dans les mois suivant la catastrophe, une fois les dépôts refroidis et les maisons réparées, les villageois ont fait disparaître toute trace des conséquences de l'éruption et les touristes ont donc cessé de venir visiter ces villages.

Plus en amont, dans la zone frappée plusieurs fois par les *blasts* et par les coulées pyroclastiques, totalement détruite et interdite à la construction, le tourisme s'est développé différemment, de manière plus organisée et avec des objectifs à long terme. Les anciens habitants de la zone à la recherche de ressources pour survivre ont développé le tourisme dans les zones de Kinahrejo et de Kopeng/Kaliadem.

La première est la plus connue car c'est le lieu où Mbah Marijan a vécu et a péri. Très rapidement les gens ont voulu voir ce qu'il restait de sa maison et de son village. Avant l'éruption, très peu de touristes s'aventuraient jusqu'à Kinahrejo. Chaque semaine, une dizaine d'étudiants cherchaient la maison de gardien qu'ils avaient vu dans les publicités pour « Kuku-Bima » (chapitre I et IV) et la sœur de Marijan avait eu l'idée de faire payer le parking pour stationner devant la maison et essayer d'apercevoir le *Juru Kunci*.

La seconde zone est située au bord de la rivière Gendol, connue depuis l'éruption de 2006, car Kaliadem est l'ancien village où une coulée pyroclastique de 7,5 km fit deux victimes, réfugiées dans un bunker. Après l'éruption de 2006, les corps des deux victimes furent déterrés et le bunker nettoyé afin que les touristes puissent y entrer et s'y photographier. La zone a été alors réaménagée pour l'accueil des touristes avec l'installation de deux parkings payants, des petits restaurants ainsi que des boutiques de souvenirs vendant des photos des coulées pyroclastiques, des T-shirts avec la photo du gardien du volcan, etc.

Après l'éruption de 2010, des péages ont été mis en place pour accéder à chacune des deux zones, ainsi que des grands parkings payants pour les bus, les voitures et les motos. Des dizaines de boutiques se sont installées, qui vendent des souvenirs, des fruits « volcaniques », des DVD retraçant l'éruption et des photos des villages entre les différentes éruptions. Sur les deux sites, des tours d'observation du volcan ont été construites et un système de moto-taxi / guide a été organisé pour se rendre plus en amont du volcan. À Kinahrejo, un vrai restaurant s'est ouvert, le café Kinahrejo (chapitre IV).



Figure 115. Le village de Jumoyo enseveli par les lahars de janvier 2010.

Début décembre 2010, les premiers lahars dévalant les flancs du Merapi ont coupé la route reliant Yogyakarta à Magelang au niveau de l'intersection avec la rivière Putih, au village de Jumoyo. Là aussi le tourisme de catastrophe s'est développé. À quelques jours d'intervalle, plusieurs lahars ont détruit le marché de Jumoyo en janvier 2011 (De Belizal et al., accepté), coupé la route à plusieurs reprises en déposant des matériaux (blocs et sable) sur une épaisseur de plusieurs mètres et enseveli le village (Fig. 115). Les habitants du village

enseveli sous les matériaux du Merapi durent être relogés alors que les touristes de catastrophe commencèrent à s'intéresser au site. Des parkings et échoppes vendant nourriture et souvenirs ont été installés, et le site, situé sur la route du temple de Borobudur est devenu une étape dans les tours des agences de voyage.

Dans un objectif de long terme, Kinahrejo a développé un parc d'agro-tourisme afin d'accueillir un autre public que le touriste de catastrophe (chapitre IV). Ce parc a pour but de faire pousser des fruits et légumes de façon communautaire sur les emplacements des terrains où se situaient les maisons et *kebun* (jardins) des villageois de Kinahrejo. La coopérative décide de planter de grandes surfaces de plusieurs sortes de fruits ou légumes pour que les touristes citadins puissent découvrir les plantes et la façon dont elles poussent. Une fois arrivés à maturité, les fruits et légumes sont récoltés ; trois-quart de l'argent est reversé au propriétaire du terrain et un quart à la coopérative.

Ces sites touristiques du Merapi sont devenus partie intégrante des endroits touristiques de la Province de Yogyakarta à visiter et les agents de voyages proposent également aux touristes étrangers de se rendre à Kinahrejo et à Kopeng/Kaliadem. Pour continuer d'attirer les touristes de catastrophe à Yogyakarta, l'office de tourisme indonésien a créé une série de cartes postales intitulée « Merapi Volcano » montrant des photos du Merapi en éruption (Fig. 116), des lieux sinistrés par l'éruption, des routes sous les cendres volcaniques, et des forêts rasées.



Figure 116. Carte postale de l'éruption du Merapi de 2010.

La période post-crise des éruptions du Mont Saint Helens et du Pinatubo ont montré des similitudes concernant le développement du tourisme.

Peu après l'éruption du mont Saint Helens, le *National Forest Service* et l'État de Washington ouvrirent des centres d'accueil pour développer le tourisme de catastrophe et permettre aux touristes de constater les dégâts causés par l'éruption (Tilling et al, 1990).

Suite à l'éruption du volcan Pinatubo de 1991, le gouvernement philippin décida d'investir dans le tourisme de la région afin de financer la reconstruction, le développement d'infrastructures publiques et touristiques. En plus des investissements, il fit payer un droit d'accès au parc pour les touristes. Dès 2000, les investissements devinrent rentables puisque plus de 1 200 touristes par mois fréquentaient la zone (Remigio et al. 1997).

Même si la zone dévastée par l'éruption de 2010 fut peu importante en comparaison aux grandes éruptions des siècles passés, le nombre de maisons détruites fut considérable. Les écoulements pyroclastiques causèrent la destruction totale de 1 452 maisons et 911 furent partiellement détruites. Les blasts frappèrent une zone d'une surface de 22 km² et les coulées pyroclastiques parcoururent une distance maximale de 17 km. Les impacts directs sont localisés sur le flanc sud du volcan.

L'agriculture et l'élevage n'ont pas été impactés de la même façon par l'éruption du volcan. Les impacts directs ont surtout affecté l'élevage. Un nombre important de têtes de bétail a été tué par les *blasts*, coulées pyroclastiques et leurs déferlantes, sur une zone très localisée. Du point de vue de l'agriculture, la zone la plus touchée fut celle qui fut frappée par les *blasts* ainsi que la zone amont affectée par les écoulements pyroclastiques où toutes les cultures furent soit ensevelies par les dépôts soit brûlées. Indirectement, l'éruption a eu des conséquences sur une plus grande surface agricole, touchant toute la partie ouest, sud-ouest et nord-ouest du volcan. Dans cette zone, un nombre important de cultures n'ont pas résisté à l'acidité des cendres et des récoltes entières ont été perdues. Cependant, les cendres ont fertilisé les sols, d'autres cultures ont été fortifiées et les années suivant les éruptions sont souvent plus productives.

Cependant, les impacts indirects ont eu des conséquences économiques plus lourdes et lointaines, en partie engendrées par la fermeture de l'aéroport de Yogyakarta et par la surmédiation de l'éruption qui causèrent un effet en chaîne en empêchant ou dissuadant

les hommes d'affaires et les touristes de se rendre dans la région. Cela eut pour conséquence la baisse du taux de remplissage des hôtels, qui entraîna une réduction temporaire du nombre d'employés et une baisse d'activité dans les principaux lieux touristiques de la ville. Malgré cela, plus d'une dizaine de gros hôtels ouvrirent entre l'éruption et la fin de l'année 2012.

Les villageois des zones touchées directement par l'éruption quand à eux ont réussi à tirer profit de celle-ci en développant le tourisme de catastrophe afin de pouvoir recommencer une vie dans des zones moins exposées aux aléas du Merapi.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Le Merapi est le volcan le plus peuplé au monde. Dans la zone la plus exposée aux écoulements pyroclastiques, la densité de population atteint 505 hab./km² et 764 hab./km² dans la première zone de danger. Lors du pic de l'éruption de 2010, près d'un million de personnes a évacué dans un rayon de 20 km autour du volcan, alors qu'aucun plan de gestion de crise ne prévoyait un scénario de cette ampleur. De nombreux villages sur le volcan ne disposaient pas de moyens de transport suffisants pour évacuer les habitants en une seule fois, ce qui a obligé de nombreuses personnes à faire plusieurs aller-retour dans les zones menacées pour sauver leurs familles et voisins. Des personnes se sont aussi perdues, ne sachant pas où aller, ni où se réfugier. Cependant grâce à l'entraide des particuliers, des autorités et de plusieurs entreprises locales, l'ensemble des villageois a pu être accueilli dans des camps de fortune.

Les scientifiques indonésiens n'avaient pas prévu une éruption du Merapi de cette importance. D'une part la carte d'aléas la plus récente publiée en 2000 par le centre de volcanologie limitait les zones fortement menacées par les écoulements pyroclastiques à un rayon de 15 km autour du sommet du volcan, or ceux-ci ont atteint 17 km le 5 novembre 2010. D'autre part, les équipements de surveillance du volcan étaient uniquement installés au sommet du Merapi et dans la zone KRB III, zone potentiellement la plus exposée aux projections balistiques et aux écoulements pyroclastiques, ce qui eu pour conséquence la perte de trois sismomètres et plusieurs jours sans information précise en raison de la saturation des données produites par les deux seuls instruments épargnés.

L'intensité de l'éruption du Merapi de 2010 a été la plus importante des 140 dernières années. Mais elle ne s'est manifestée qu'au cours de deux principaux événements : l'éruption du 26 octobre qui coûta la vie à mbah Marijan, le gardien du volcan, et à quelques dizaines de personnes (habitants de son village et journalistes), et celle du 5 novembre qui fit plus de 300 victimes. Proportionnellement au nombre de personnes vivant dans les zones à risque et à tous les facteurs de vulnérabilité précédemment exposés et qui ont été confirmés au fil de la catastrophe, le bilan de l'éruption en terme de victimes fut relativement limité. L'éruption, de IEV 4, a causé au total la mort de 349 personnes, alors que celle de 1994 fit 64 victimes alors que son intensité était bien plus faible (IEV 2). Cela montre que le nombre de victimes d'une éruption dépend moins de l'intensité de celle-ci que du niveau de préparation des populations

et organismes de gestion de la crise. Cependant, il est encore possible de réduire la vulnérabilité en agissant sur certains facteurs, afin de limiter les effets des prochaines éruptions, indépendamment de leur magnitude.

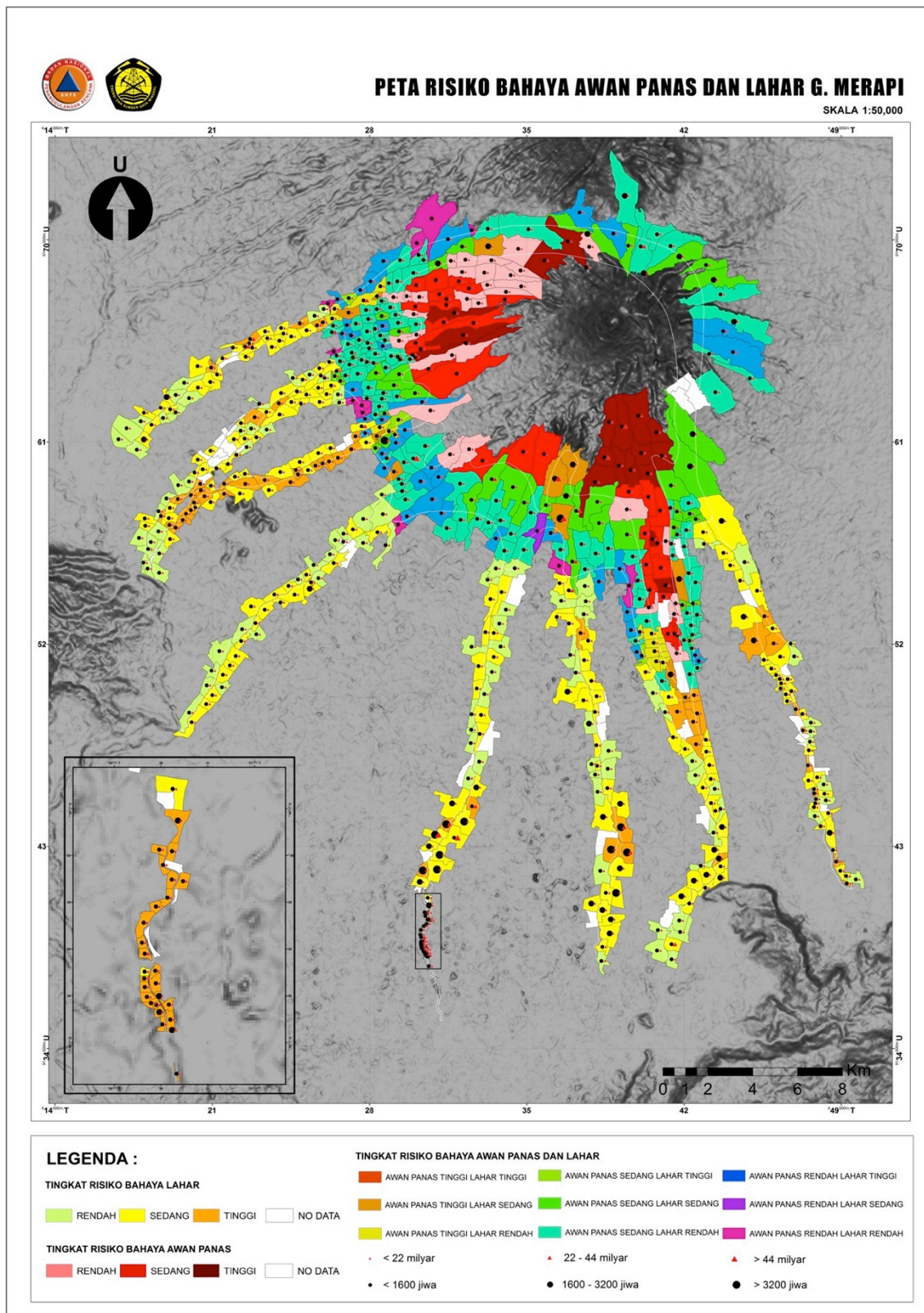


Figure 117. Carte des risques de 2012 élaborée par le CVGHM

La carte des risques réalisée par le CVGHM présente les différents niveaux de risques face aux lahars, aux écoulements pyroclastiques et combinée entre lahars et écoulements pyroclastiques. Pour chaque *dusun* la carte présente le niveau (faible, moyen, élevé) de risque pour chacun des deux aléas ou les deux combinés. Cette carte des risques n'est pas encore aboutie. Les nuances de couleurs sont trop proches les unes des autres rendant la lecture de la carte difficile. Il a été choisi trois nuances de couleurs afin de représenter trois informations. Il aurait été judicieux d'utiliser différents types de représentations cartographiques (hachures, points, etc.). Toutes ces classes rendent la légende complexe. Sa présentation elle-même est incomplète puisque les données représentées par des cercles proportionnels (peu visibles) n'ont pas de titre, on ne sait donc pas quelle information est représentée. Il en est de même pour les informations quantifiées en « myliar » (sans doute de rupiah) qui sont illisibles.

L'autorisation pour la publication d'une carte des risques au Merapi dans cette thèse n'a pas été accordée par le CVGHM, celle-ci étant trop sensible « politiquement » et non de notre responsabilité.

Des données de vulnérabilité mises à jour

Du point de vue scientifique, les volcanologues indonésiens ont pris conscience de l'importance de posséder des cartes présentant la répartition spatiale des principaux facteurs de vulnérabilité des populations vivant sur les flancs du volcan. Ainsi, la méthodologie du programme MIA VITA, adoptée dans cette thèse, a été reprise à partir de 2012. Le BPPTK, en partenariat avec l'Université Gadjah Mada (UGM) de Yogyakarta, a ainsi, d'une part, entrepris une cartographie des *dusun* dans un rayon de 20 km autour du Merapi et le long des rivières où le risque de lahars est important (Fig. 117). Dans ces mêmes villages, il a, d'autre part, réalisé un questionnaire inspiré du PODUS et complété par les chefs de *dusun*. L'objectif du centre de volcanologie est de publier une carte des risques au Merapi en croisant les cartes réalisées à partir de ces données avec la carte d'aléas mise à jour en 2011. Cependant, on peut craindre que ces données de vulnérabilité ne soient pas régulièrement actualisées. Cela rendrait la carte des risques incomplète voire erronée. Sans une mise à jour annuelle des données, des problèmes sont à craindre, comme ceux posés par la carte obsolète des zones de dangers au moment de l'éruption de 2010.

Il faudrait également aller au delà de la carte des risques et utiliser la nouvelle base de données des facteurs de vulnérabilité établie par le BPPTK pour créer des outils opérationnels, comme une carte de capacité de transports afin de pouvoir déterminer à l'avance les zones où, en cas d'évacuation, il serait nécessaire d'envoyer des camions pour déplacer les populations.

Dans le cadre du projet MIA VITA, Lavigne et al. sont en train de constituer un atlas du Merapi à l'échelle du *dusun* et à partir des données collectées par notre étude. Cet atlas, construit en partenariat avec les scientifiques indonésiens, est destiné aux gestionnaires de la crise qui pourront ainsi prendre en compte la vulnérabilité des populations.

Une communication scientifique accessible à tous

Du point de vue de la perception du risque et de la communication des scientifiques, l'année 2010 a été un tournant important. La place occupée jusqu'ici dans les médias par mbah Marijan a été prise par le directeur de la volcanologie, le Dr Surono. Son charisme, sa popularité et son aisance devant les cameras furent décisifs lors des évacuations. Au moment de l'éruption, Surono a été propulsé au rang des personnalités les plus populaires d'Indonésie grâce à un *talk-show* qui lui a été consacré à une heure de grande écoute et sur une des chaînes de télévision les plus regardées du pays. Cette « peopolisation » a accru la crédibilité du scientifique, dont les conseils ont été par conséquent très suivis. Cela montre que la population indonésienne est demandeuse d'informations concernant les risques d'origine naturelle si les scientifiques ne se contentent pas de donner des ordres d'évacuation, comme en 2006, mais communiquent de façon plus populaire et efficace.

Une prévention des risques plus large

La mémoire collective des hommes étant courte, il est nécessaire de continuer à faire de la prévention des risques sur le volcan. Indiquer aux populations les routes à emprunter pour évacuer ou comment bien isoler les maisons lors des éruptions sont des recommandations à répandre. « La première ligne de défense dans un système résilient consiste à la préparation de la population » (Pigeon, 2012).

En 2010, une meilleure connaissance des routes d'évacuation aurait pu épargner des vies, comme celle de Yeni âgée de 22 ans et de sa mère. En évacuant le *dusun* Bronggang, elles se sont enfuies à moto ; à un croisement elles ont pris une route parallèle à la rivière Gendol plutôt que la route perpendiculaire, pensant qu'il valait mieux s'éloigner du sommet du volcan que du bord de la rivière. Yeni et sa mère ont été tuées par les déferlantes de la coulée pyroclastique du 5 novembre 2010.

Par ailleurs, il a été montré par Jenkins et al. (2012) que les maisons construites en dur, dont les aérations étaient hermétiquement fermées et les fenêtres protégées au moment de l'éruption, résistaient mieux aux déferlantes pyroclastiques. En effet, les destructions ont

été plus importantes quand un incendie s'est déclaré dans les maisons du fait de la présence d'objets inflammables à des températures peu élevées (papier, matières plastiques, ...). Ces objets ont pris feu lorsque les déferlantes ont pénétré dans les maisons en raison d'une mauvaise isolation ou de trous causés par des missiles volcaniques. En bouchant les aérations avec du carton ou du bois, plusieurs maisons ont été protégées.

Une gestion de crise plus large

Actuellement, les organismes intervenant dans la gestion des risques sur le Merapi se fondent sur des éruptions récentes pour planifier la gestion des futures crises et ne pensent pas au long terme. La logistique et les aides (ressources humaines, moyens d'évacuation, ...) ne sont prévus, au maximum, que pour la population située à l'intérieur des zones de danger KRB II et III. Etant donnée la fréquence des éruptions du Merapi, le gouvernement devrait prévoir l'achat de terrains transformables en zones d'accueil potentiel de réfugiés à l'extérieur du rayon de 20 km du sommet du volcan. Ces terrains, recouverts d'une dalle en béton, permettraient d'établir des camps de réfugiés salubres, équipés de blocs sanitaires, ainsi que de bâtiments en dur rendre possible l'installation d'un petit hôpital et d'une cuisine. En 2010, au Merapi, plusieurs stades ont été utilisés lors des évacuations, et ont accueilli un grand nombre de réfugiés. Cependant, d'autres catastrophes telles que celle de la Nouvelle-Orléans en 2005, ont montré que les stades, comme le *Superdome*, ne sont pas équipés pour accueillir les population réfugiées au delà de plusieurs semaines, voire plusieurs mois, d'où l'intérêt de prévoir l'achat de terrains d'accueil spécifiques.

Lors de l'éruption de 2010, quelques lieux de refuge pour le bétail ont été installés, ce qui a permis de sauver une partie du cheptel des zones évacuées sur le volcan et de dispenser les éleveurs de remonter quotidiennement pour nourrir leurs animaux. Il faudrait développer ces évacuations du bétail en sélectionnant de grands terrains d'accueil afin de réduire les coûts quotidiens d'entretien et de nourriture grâce à l'organisation collective de moyens de transport pour le bétail et à un acheminement du fourrage en grande quantité venant de régions prévues non exposées à la catastrophe. Il serait également souhaitable, comme le pense Mr Surono, que le gouvernement mette en place un système de rachat du bétail destiné aux éleveurs concernés par les évacuations. Ce système les aiderait à éviter des frais supplémentaires liés à l'évacuation (coûts de transports, achat de fourrage) ou de perdre du temps à vendre seul leurs bêtes.

Une vulnérabilité plus difficile à réduire, celle du secteur aérien

Du point de vue des transports aériens, il n'est pas possible de réduire la vulnérabilité des avions car la direction et l'altitude du panache lors d'une éruption n'est pas contrôlable. Cependant, la direction de l'aéroport Adisucipto de Yogyakarta a entrepris la construction d'un nouvel aéroport, plus loin du Merapi, à une distance de 55 km du volcan, ce qui peut réduire l'exposition aux chutes de cendres si le panache n'est pas dirigé vers le Sud-Ouest.

Cette thèse n'avait pas l'ambition de faire un bilan global des impacts de l'éruption du Merapi car certains d'entre-eux, comme sur les impacts sur la gestion de l'eau au Merapi, pourraient faire l'objet d'une thèse en eux-mêmes, ou dépassent les compétences de l'auteur, notamment en géopolitique ou en sociologie. Il en est de même pour les aspects économiques car le permis de recherche indonésien précisant que la thèse portait sur des problématiques géographiques, certaines entreprises ou organismes n'ont pas voulu partager leurs données financières.

Cependant, comme le montre la figure 118, la thèse propose une représentation des principaux impacts géographiques de l'éruption du Merapi de 2010 et l'« effet domino » qui se produisit entre eux. En partant de l'éruption et plus précisément des écoulements pyroclastiques et des cendres émises lors de celle-ci, le système présente les conséquences qui ont eu lieu sur le court, moyen et long terme. Il montre en parallèle les relations entre les différents types d'impacts.

279

BIBLIOGRAPHIE

- Abdurachman, E.K., Bourdier, J.-L., Voight, B., 2000. Nuées ardentes of 22 November 1994 at Merapi volcano, Java, Indonesia. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, N 100, pp. 345–361.
- Alexander D., 1991. Applied geomorphology and the impact of natural hazards on the built environment. *Natural hazards*, n 4, pp. 57-80.
- Anderson, M. B. 1991. Which costs more: prevention or recovery? In A. Kreimer and M. Munasinghe (eds.) *Managing Natural Disasters and the Environment, Selected Materials from the Colloquium on the Environment and Natural Disasters Management*. Washington, DC, The World Bank.
- Anderson, T. and Flett, J. S., 1903, Report on the eruption of The Soufriere in St. Vincent 1902 and on a visit to Montagne Pelée in Martinique, *Phil. Trans. R. Soc. London*, Series A, n 100, pp. 353–553.
- Bahar I. et Girod M., 1983. Contrôle structural du volcanisme Indonésie (Sumatra, Java, Bali) ; application et critique de la méthode Nakamura. *Bulletin de la société géologique de France*. V7, t. XXV, n°4.
- Bahar I., 1984. Contribution à la connaissance du volcanisme indonésien : le Merapi (Centre Java) : cadre structurale, pétrologie – géochimie, et implications volcanologiques. Thèse de 3^{ème} cycle, Montpellier.
- Baird A, O’Keefe P, Westgate K, Wisner B. 1975. Towards an Explanation and Reduction of Disaster Proneness, Occasional Paper N. 11. Disaster Research Unit, University of Bradford: Bradford.
- Bankoff, G., 2001. Rendering the world unsafe : « Vulnerability » as western discourse. *Disaster*, n 25(1), pp. 19-35.
- Bardintzeff J.-M., 1998. *Volcanologie*. Masson. 236 p.
- Bardintzeff J.M., 1985. Les nuées ardentes. Thèse en sciences naturelles. *Bulletin PIRPSEV* n°109, 396 p.
- Baxter, P. J., Ing, R., Falk, H., French, J., Stein, G. F., Bernstein, R. S., Merchant, J. A. and Allard, J., 1981. Mount St. Helens Eruptions, May 18 to June 12, 1980. An overview of the acute health impact, *J. Am. Med. Assoc.* 246, pp. 2585–2589.
- Baxter, P. J.: 1990, Medical effects of volcanic eruptions. 1. Main causes of death and injury, *Bull. Volcanol.* 52, pp. 532–544.

- Baxter, P.J., Boyle, R., Cole, P., Neri, A., Spence, R. and Zuccaro, G., 2005. The impacts of pyroclastic surges on buildings at the eruption of the Soufrière Hills volcano, Montserrat. *Bulletin of Volcanology*, n 67(4), pp. 292-313.
- Baxter, P.J., Neri, A., Todesco, M., 1998. Physical modelling and human survival in pyroclastic flows. *Nat. Hazards* 17, pp. 163-176.
- BBC News, April 20, 2010. Iceland volcano cloud: The economic impact. <http://news.bbc.co.uk/2/hi/8629623.stm>
- Belousov, A., Voight, B. and Belousova, M., 2007. Directed blasts and blast-generated pyroclastic density currents: a comparison of the Bezymianny 1956, Mount St Helens 1980, and Soufrière Hills, Montserrat 1997 eruptions and deposits. *Bulletin of Volcanology*, 69(7), pp. 701-740.
- Benson, C., 2005. Volcanoes and the economy. *Volcanoes and the environment*. Cambridge University Press, pp. 440-467.
- Bernstein, R. S., Baxter, P. J., Falk, H., Ing, R., Foster, L. and Frost, F., 1986. Immediate public health concerns and actions in volcanic eruptions: lessons from the Mount St. Helens eruptions May 18-October 18, 1980, in A. S. Buist and R. S. Bernstein (eds), *Health Effects of Volcanoes: an Approach to Evaluating the Health Effects of an Environmental Hazard*, suppl. *Amer. J. Public Health* 76, pp. 25-37.
- Berthier, N., 2006. *Les techniques d'enquête en sciences sociales*. Armand Colin 3^e édition 356p.
- Berthommier P.C. et al., 1986. Le Merapi (centre Java) : Activité Historique – L'éruption de 1984. *Bulletin PIRPSEV* n°118, 42 p.
- Blake S., 1990. Viscoplastic models of lava domes. Fink J. Edition. *Lava flows and domes*, Springer-Verlag, Berlin. P. 88-126.
- Blong, R., and McKee, C., 1995. The Rabaul eruption 1994: destruction of a town: *Natural Hazards Research Centre*, Macquarie University, Australia, 52 p.
- Blong, R.A., 1982. *The Time of Darkness, Local Legends and Volcanic Reality in Papua New Guinea*. University of Washington Press, Seattle and Australian National University Press, Canberra.
- Boomgaard, Peter, 2003. In the shadow of rice: roots and tubers in Indonesia, 1500-1950. *Agricultural History* 77 (4), pp. 582-610.
- BPS. 2009, 2010. *Statistik Penduduk Indonesia*. Jakarta: Biro Pusat Statistik.

- Brundige, E., King, W., Vahali, P., Vladeck, S., Yuan, X., 2004. Indonesian Human Rights Abuses in West Papua: Application of the Law of Genocide to the History of Indonesian Control. By the Allard K. Lowenstein International Human Rights Clinic Yale Law School, 75 p.
- Buettner, K., 1950. Effects of extreme heat in man, *J. Am. Med. Assoc.* 144, pp. 732–738.
- Bull, J. P.: 1971. Revised analysis of mortality due to burns, *Lancet* 2, pp. 1133–1134.
- Bull, R. 1992. Disaster economics. In *Disaster Management Training Programme*, 1st edn. New York, United Nations Development Programme and United Nations Disaster Relief Office.
- Cadag, J. R., Chouraqui, F., De Belizal, E., Gaillard, J.-C., Grancher, D., Kouokam, E., Lavigne, F., Mei, E.T.W., Noer, Cholik ; Pannaccione Apa, M.I., Picquout, A. Sayudi, D.S., Texier, P., 2012. MIAVITA team. Handbook for Volcanic Risk Management – Prevention, crisis management, resilience. Orleans 2012. Section 5 “Living with a volcano: reducing vulnerability”.
- Cannon, T., 1994. Vulnerability Analysis and the explanation of « Natural » Disasters. *Disaster, Development and Environment*. Ann Varley & contributors, pp. 13-30.
- Carey, S., Sigurdsson, H., Mandeville, C. and Bronto, S.: 1996, *Bull. Volcanol.* 57, pp. 493–511.
- Casadevall, T.J., Delos Reyes, P.J., Schneider, D.J., 1996. The 1991 Pinatubo eruptions and their effects on aircraft operations. *Fire and Mud: eruptions and lahars of Mount Pinatubo, Philippines*. Philippines Institute of Volcanology and Seismology/University of Washington Press, Quezon City/Seattle, pp. 625–636.
- Chardon, A.C., 1994. Etude intégrée de la vulnérabilité de la ville de Manizales (Colombie) aux risques naturels. *Revue de Géographie Alpine*, N°4, Tome LXXXII, pp. 97-112.
- Chester, D.K., 2005. Theology and disaster studies: The need for dialogue. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* n 146, pp. 319–328.
- Chester, D.K., 2005. Volcanoes, society and culture. *Volcanoes and the Environment*. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 404–439.
- Coanus T., Comby J., Duchêne F., Martinais E., 2010. Risques et territoires. Interroger et comprendre la dimension locale de quelques risques contemporains. Lavoisier, Collection Sciences du risque et du danger, série Références, 480 p.
- Cronin, S.J., Hedley, M.J., Neall, V.E., Smith, R.G., 1998. Agronomic impact of tephra fallout from the 1995 and 1996 Ruapehu Volcano eruptions, New Zealand. *Environmental Geology* 34 (1), pp. 21-30.

- Cronin, S.J., Neall, V.E., Lecoindre, J.A., Hedley, M.J., Loganathan, P., 2003. Environmental hazards of fluoride in volcanic ash: a case study from Ruapehu volcano, New Zealand. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 121, pp. 271-291.
- D. Prasetyo, E. et Dono, H., 1998. Le banian blanc. Ed. PT Enrique Indonesia, 247 p.
- D'Ercole R., 1996. Représentations cartographiques des facteurs de vulnérabilité des populations exposées à une menace volcanique. Application à la région du volcan Cotopaxi (Equateur). *Bulletin de l'institut français d'études Andins*. Vol. 25, pp. 479-507.
- D'Ercole, R. 1998. Approches de la vulnérabilité et perspectives pour une meilleure logique de réduction des risques. *Pangea* 29/30, pp. 20–28.
- D'Ercole, R., 1991. Vulnérabilité des populations face aux risques volcaniques. Le cas de la région du volcan Cotopaxi (Équateur). Thèse de doctorat, spécialité géographie-aménagement, Université Joseph Fournier, Grenoble, 459p.
- D'Ercole, R., 1994. Les vulnérabilités des sociétés et des espaces urbanisés : concepts, typologie, modes d'analyse. *Revue de Géographie Alpine*, N°4, Tome LXXXII, pp. 87-96
- Dake, K., 1991. Orienting disposition in the perception of risk. *J. Cross-Cult. Psychol.* 22 (1), pp. 61–82.
- Dauphiné, A., 2001. Risques et catastrophes. Observer-Spatialiser-Comprendre-Gérer. Armand Colin, 288 p.
- Davidson, J. and De Silva, S., 2000. Composite volcanoes. *Encyclopedia of volcanoes*. Academic Press, pp. 663 – 680.
- De Belizal, E., 2012. Les corridors de lahars du volcan Merapi (Java, Indonésie) : des espaces entre risque et ressource. Contribution à la géographie des risques au Merapi. Thèse de doctorat. Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne. 412 p.
- De Bélizal, E., Lavigne, F., Gaillard, J.C., Grancher, D., Indyo P., Komorowski, J.C., 2012. The 2007 eruption of Kelut volcano (East Java, Indonesia): Phenomenology, crisis management and social response. *Geomorphology*, n 136, pp. 165 – 175.
- De Bélizal, E., Lavigne, F., Sri Hadmoko, D., Degeai, J.P., Dipayana, G.A., Mutaqin, B.W., Marfai, M.A., Coquet, M., Le Mauff, B., Robin, A.K., Vidal, C., Cholikh N., Aisyah N, Accepted. Rain-triggered lahars following the 2010 eruption of Merapi Volcano, Indonesia. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, Special Issue: Merapi eruption.
- Delmelle, P. and Stix, J., 2000. Volcanic Gases. *Encyclopedia of volcanoes*. Academic Press, pp. 803 – 815.
- Douglas, M., 1992. Risk and Blame. London, Routledge.

- Douglas, M., Wildavsky, A., 1982. *Risk and Culture: An Essay on the Selection of Technological and Environmental Dangers*. Berkeley, University of California Press.
- Dove, M.R., 2008. Perception of volcanic eruption as agent of change on Merapi volcano, Central Java. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, n 172, pp. 329 – 337.
- Edward W. Wolfe, Richard P. Hoblitt, 1996. *Overview of the Eruptions, Fire and Mud: Eruptions and Lahars of Mount Pinatubo, Philippines*.
- Eisele, J. W., O'Halloran, R. L., Reay, D. T., Lindhock, G. R., Lewman, L. V. and Brady, W. J., 1981. Deaths during the May 18, 1980, eruption of Mount St. Helens, New Eng. J. Med. 305, pp. 931–936.
- Fink, J.H., Anderson, S.W., 2000. Lava domes and coulees. In: Sigurdsson, H., Houghton, B.F., McNutt, S.R., Rymer, H., Stix, J. (Eds.), *Encyclopedia of Volcanoes*. Academic Press, San Diego, pp. 307–319.
- Folch, A. & Sulpizio, R., 2010. Evaluating the long-range volcanic ash hazard using supercomputing facilities. Application to Somma-Vesuvius (Italy), and consequences on civil aviation over the Central Mediterranean Area. *Bulletin of Volcanology*, Vol. 72, pp. 1039-1059.
- Gaillard, J.-C., Texier, P., 2010. Religions, natural hazards, and disasters: An introduction. *Religion*, 40(2), pp. 81-84.
- Gaillard, J.C., 2006. Traditional societies in the face of natural hazards: the 1991 Mt. Pinatubo eruption and the Aetas of the Philippines. *International Journal of Mass Emergencies and Disasters* 24 (1), pp. 5–43.
- Gaillard, J.C., 2008. Alternative paradigms of volcanic risk perception: The case of Mt. Pinatubo in the Philippines. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 2008, 14 pp.
- Gaillard, J.C., D'Ercole, R., Leone, F., 2001. Cartography of population vulnerability to volcanic hazards and lahars of Mount Pinatubo (Philippines): a case study in Pasig-Potrero River basin (province of Pampanga). *Géomorphologie : relief, processus, environnement* 7, pp. 209–222.
- Gaillard, J.C., Limazon, C.C., Maceda, E.A., 2007. Retour sur les causes d'une catastrophe : Pourquoi plus de 1 600 morts aux Philippines fin 2004 ? *Mondes en développement*. De Boeck Supérieur, n 137, 2007/1, pp. 35 - 50.
- Gaillard. J.C., 2010. Vulnerability, capacity and resilience: perspectives for climate and development policy. *Journal of International Development* n 22, pp. 218 – 232.
- Gilbert, C., 2003. Limites de l'ambiguïté de la territorialisation des risques. *Pouvoir locaux. Les cahiers de la decentralization*. N 56. I/2003.

- Glasstone, S. and Dolan, P.J., 1977. The effects of nuclear weapons, 3rd ed. US Department of Defense, Washington DC, pp. 1–653
- Guffanti, M., Casadevall, T.J., Mayberry, G., 2004. Reducing encounters of aircraft with volcanic-ash clouds. Second international conference on volcanic ash and aviation safety. Alexandria, Virginia, USA, pp. 17–21
- Guffanti, M., Mayberry, G.C., Casadevall, T.J., Wunderman, R., 2009. Volcanic hazards to airports. *Nat Hazards* N 51, p.287 – 302.
- Hartmann M., 1935. Der grosse Ausbruch des vulkanes G.Merapi (Mittel-Java) im Jahre 1972. *N.T.V.N.I* n°94. pp.189-210.
- <http://en.vedur.is/earthquakes-and-volcanism/articles/nr/1880>
- http://m.mediaindonesia.com/index.php/read/2011/12/17/284783/289/101/Pascaerupsi_Merapi_Kemampuan_Ekspor_Salak_Magelang_Turun
- <http://news.bbc.co.uk/2/hi/business/8634147.stm>
- http://www.science20.com/planetbye/volcanic_eruptions_science_and_risk_management-79456
- <http://www.slemankab.go.id/1646/terkena-material-merapi-sleman-selamatkan-salak-dengan-pemangkasian.slm>
- Huang, Lixin. 2011. Predicting Hurricane Evacuation Decisions: When, How Many and How Far. FIU Electronic Theses and Dissertations, paper 461.
- Iguchi, M., Ishihara, K., Surono, Hendrasto, M., 2011. Learn from 2010 Eruptions at Merapi and Sinabung Volcanoes in Indonesia. *Annals of Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University*, n 54 B, 2011.
- Inter-Agency Standing Committee, 2005. Directives concernant les interventions relatives au VIH/SIDA dans les situations d'urgence. <http://www.who.int/>
- Jakarta Globe, February 4, 2012. Pilots' Drug Arrests Set Off Alarm in Indonesia. <http://www.thejakartaglobe.com/lawandorder/pilots-drug-arrests-set-off-alarm-in-indonesia/497359>
- Jenkins, S., Komorowski J.-C.b, Baxter, P., Spence, R., Picquout, A., Lavigne, F., Surono, 2013. The Merapi 2010 eruption: a new multi-disciplinary impact assessment methodology for studying pyroclastic density current dynamics for the purposes of volcanic risk mitigation. *Journal of Volcanology and Geothermal Research. Special Issue: Merapi eruption*.
- Kelfoun, K., Legros, F., Gourgaud, A., 2000. A statistical study of tree damage by the November 22, 1994 eruption of Merapi volcano (Java, Indonesia): relationships between ash-cloud surges and block-and-ash flows. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 100, pp. 379–393.

- Kelman, I., Mercer, J., Gaillard, J.-C., 2012. Indigenous knowledge and disaster risk reduction. *Geography*, 97(1), pp. 12-21.
- Kemmerling, G.L.L., 1921. De uitbarsting van den G. Keloet in den nacht van den 19den op den 20sten mei 1919. Weltevreden, Batavia, 121 p.
- Kemp, R.L., 2007. Assessing the vulnerability of buildings. *Disaster Prevention and Management* 16(4), pp. 611–618.
- Kennan, G., 1902. The tragedy of Pelée. The Outlook Company, New York, pp. 1 - 257.
- Kesbanglinmas, 2009. Rencana Kontingensi Penanggulangan Bencana Letusan Gunung Merapi Kabupaten Magelang, Sleman, Boyolali dan Klaten. Pemerintah Kabupaten – UNICEF – Forum Merapi.
- Kite-Powell, H.L., 2001. Benefits of NPOESS for Commercial Aviation – Volcanic Ash Avoidance. Marine Policy Center, Woods Hole Oceanographic Institution January 2001, 17pp.
- Kobayashi, K., Hirano, A., Murakami, R., Yamamoto, M., Shidayama, R., Fujimoto, H., Iio, Y., Fujii, T., Haseba, S. and Sakito, T.: 1993, *Japanese J. Burn Injury* 19, pp. 226–235
- Komorowski, J.-C., 2003. Diversité du volcanisme Terrestre : processus et produits. P. De Wever (Ed.) "Le volcanisme : cause de mort et source de vie", Editions Vuibert, Paris, pp. 27-112.
- Komorowski, J.C., Jenkins, S., Baxter, P.J., Picquout, A., Lavigne, F., Charbonnier, S., Gertisser R., Noer, C., Budi-Santoso, A., Surono , 2013. Paroxysmal dome explosion during the Merapi 2010 eruption: processes and facies relationships of associated high-velocity pyroclastic density currents. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. Special Issue: Merapi eruption.
- La Tribune, April 17, 2010. Le nuage du volcan islandais obscurcit les vacances. <http://www.latribune.fr/journal/edition-du-1704/industrie-et-services/404006/le-nuage-du-volcan-islandais-obscurcit-les-vacances.html>
- Lacroix, A., 1904. La Montagne Pelée et ses Eruptions, Masson, Paris.
- Lallemand, S., Jolivet, L., Huchon, P., Prouteau, G., 2005. Convergence lithosphérique, société géologique de France, Vuibert, 182 p.
- Lavigne F., 1998. Les lahars du volcan Merapi, Java central, Indonésie : déclenchement, budget sédimentaire, dynamique et risques associés. Thèse de Doctorat, Université Blaise Pascal, Clermont II, 539 p.
- Lavigne, F. et Thouret, J.C., 1994. Proposition d'une méthode d'évaluation et de cartographie des risques liés aux lahars sur le volcan Merapi (Java, Indonésie). *Revue de géographie alpine*, vol. 82-4, pp. 151 – 166.

- Lavigne, F., 1993. Evaluation des risques associés aux lahars du Merapi, Java, Indonésie. Mémoire DEA, Géographie physique et volcanology, Université Blaise Pascal Clermont II, 198 p.
- Lavigne, F., De Belizal, E., 2010. Les effets géographiques des éruptions volcaniques , EchoGeo (En ligne), Sur le vif 2010, mis en ligne le 06 décembre 2010, URL : <http://echogeo.revues.org/12226>
- Lavigne, F., De Coster, B., Juvin, N., Flohic, F., Gaillard, J.C., Texier, P., Morin, J., Srato Hadi, J., 2008. People's behaviour in the face of volcanic hazards: Perspectives from Javanese communities, Indonesia. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, n 172, pp. 273 – 287.
- Lavigne, F., Gunnel, Y., 2006. Recent land cover change and abrupt environmental impacts on Javan volcanoes, Indonesia. *Regional Environmental Change*, n 6 , 1-2, pp. 86-100.
- Lavigne, F., Thouret, J.C., 2000. Les lahars : dépôts, origines et dynamique. *Bulletin de la Societe Geologique de France* 1741, pp. 545–557.
- Lawrence, J. C. and Bull, J. P.: 1976, Thermal conditions which cause skin burns, *Engineering in Medicine* 5, pp. 61–63.
- Le Pichon, X., Francheteau, J. et Bonnin, J., 1973. Plate tectonics. *Developments Geotectonics* 6. Elsevier, Sci. Publ. Co.
- Le Point, April 16, 2010. Cendres volcaniques : le chaos dans le transport aérien s'étend au week-end. <http://www.lepoint.fr/archives/article.php/445049>
- Léone F. et Vinet F., 2006. La vulnérabilité, un concept fondamental au cœur des méthodes d'évaluation des risques naturels. La vulnérabilité des sociétés et des territoires face aux menaces naturelles. *Analyses géographiques. Collection « Géorisques »*, N°1, pp. 9-25
- Lewis J., 1999. Development in disaster-prone places. Intermediate Technology Publications Ltd, London
- Libération, April 17, 2010. La paralysie du trafic aérien plus grave qu'en septembre 2001. <http://www.liberation.fr/monde/0101630767-nuage-de-cendres-le-chaos-dans-le-transport-aerien-s-etend-au-week-end>
- Lipman, P.W., Mullineaux, D.. 1981. The 1980 eruptions of Mount St Helens, Washington. Geological Survey Professional Paper 1250. United States Government Printing Office, Washington, DC, pp. 1 – 844.
- Lombard, D., 1990. Le carrefour javanais, Editions de l'EHESS. Volume 3.
- Lube, G., Cronin, S.J., Thouret, J.-C., Surono, 2011. Kinematic characteristics of pyroclastic density currents at Merapi and controls on their avulsion from natural and engineered channels. *GSA Bulletin* n° 123, pp. 1127-1140.

- Mac Andrews, C., 1978. Transmigration in Indonesia: prospects and problems. *Asian Survey* 18(5), pp. 458-472.
- Mas, M., 2012. Analyse comparative des représentations du risque volcanique en milieu insulaire – Guadeloupe, Martinique, Réunion. Thèse de doctorat, Montpellier, 456 p.
- Mathews, A., 1983. *The night of Purnama*. Oxford Univ. Press, Kuala Lumpur. 228 p.
- Mayberry G.C., Casadevall T.J. and Wunderman R., 2009. Volcanic hazards to airports. *Natural Hazards*, Volume 51, Number 2, pp. 287-302.
- Mei, E.T.W., 2013. Gestion des evacuations lors des crises volcaniques : Étude de cas du volcan Merapi, Java, Indonésie. Thèse de doctorat. Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne. 296 p.
- Mei, E.T.W., Lavigne, F., 2011. Evacuation Management during the 2010 Eruptive Crisis of Merapi Volcano , *Journal of International Emergency Management* (in Press)
- Mei, E.T.W., Lavigne, F., Picquout, A., Grancher, D., 2011. Crisis Management during the 2010 Eruption of Merapi Volcano. , Oral Presentation during the Regional Geography Conference UGI-IGU , Santiago , Chile , 15-19 November 2011.
- Mei, E.T.W., Lavigne, F., Picquout A., Grancher, D., Vidal, C., Brunsteim, D., De Bélizal, E., Cholik, N., Sartohadi, J., 2013. Chronology of Evacuation and People Relocation of the 2010 Merapi Volcano Eruption. *Journal of volcanology and geothermal research*.
- Mercado, R.A., Lacsamana, J.B.T, and Pineda, G.L, 1997. Socioeconomic Impacts of the Mount Pinatubo Eruption. *Fire and Mud: eruptions and lahars of Mount Pinatubo, Philippines*. Philippines Institute of Volcanology and Seismology/University of Washington Press, Quezon City/Seattle, 14pp.
- Mercer J., Gaillard J.-C., Donovan K., Shannon R., Alexander B., Day S., Becker J. (2012) Cultural awareness in disaster risk reduction: Lessons and opportunities. *Environmental Hazards*, 11(2), pp. 74-95.
- Metzger, P., D'Ercole R., 2011. Les risques en milieu urbain : éléments de réflexion, *EchoGéo*, n° 18.
- Metzger, P., D'Ercole, R., Sierra, A., 1999. Political and scientific uncertainties in volcanic risk management: The yellow alert in Quito in October 1998 - *Geojournal*, 49, pp. 213-221.
- Mileti, D., Bolton, P.A., Fernandez, G., Updike, R.G., 1991. The eruption of Nevado del Ruiz Volcano, Colombia, South America, November 13, 1985. *Natural Disaster Studies*, volume 4, for the Committee on Natural Disasters, Division of Natural Hazard Mitigation, Commission on Engineering and Technical Systems, National Research Council (USA). Washington, DC, National Academy Press.

- Miller, T.P., Casadevall, T.J., 2000. Volcanic ash hazards to aviation. In: Sigurdsson H (ed) *Encyclopedia of Volcanoes*. Academic Press, San Diego, pp. 915–930
- Nakada, S., 2000. Hazards from pyroclastic flows and surges. *Encyclopedia of volcanoes*. Academic Press, pp. 945-955.
- National Geographic France, 2008. Ces peuples qui vivent aux pieds des volcans. Les dieux doivent êtres remuants. No 101, février 2008.
- Neumann Von Padang M., 1951. Catalogue of the active volcanoes of the world. Part 1 : Indonesia. *Int. Volacan. Assoc. Italy*.
- Newhall, C.G., Bronto, S., Alloway, B., Banks, N.G., Bahar , I., Del Marmol, M.A., Hadisantono, R.D., Holcomb, R.T., McGeehin, J., Miksic, J.N., Rubin, M., Sayudi, S.D., Sukhyar, R., Andreastuti, S., Tilling, R.I., Torley, R., Trimble, D. & Wirakusumah, A.D., 2000. 10,000 years of explosive éruptions of Merapi Volcano, Central Java: archaeological and modern implications. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, v.100, pp. 9–50.
- News-assurances, April 17, 2010. Grève SNCF : 9 TGV sur 10 pour le sud-est et un trafic perturbé entre regions. <http://www.news-assurances.com/actualites/greve-sncf-9-tgv-sur-10-pour-le-sud-est-et-un-traffic-perturbe-entre-regions/016733522>
- O’Keefe P, Westgate K, Wisner B. 1976. Taking the naturalness out of natural disasters. *Nature* 260(5552), pp. 566–567.
- OECD 1994. Guidelines on Aid and Environment, no. 7, Guidelines for Aid Agencies on Disaster Mitigation. Paris, Development Assistance Committee, Organization for Economic Co-operation and Development.
- Oliver-Smith, A., 1996. Anthropological research on hazards and disasters. *Annual Review of Anthropology* 25, pp. 303–328.
- Oliver-Smith, A., Hoffman, S.M., 1999. *The Angry Earth: Disasters in Anthropological Perspective*. Routledge, New York.
- Oppenheimer, C., 2011. *Eruptions that shook the world*. Cambridge University Press, 392p.
- Otero, R. C. and Marti, R. Z. 1995. The impacts of natural disasters on developing economies: implications for the international development and disaster community. In M. Munasinghe and C. Clarke (eds.) *Disaster Prevention for Sustainable Development: Economic and Policy Issues*, Report from the Yokohama World Conference on Natural Disaster Reduction, May 23–27, 1994. Washington, DC, The World Bank, pp. 11–40.
- Paladio-Melosantos, M.L., Solidum, R.U., Scott, W.E., Quiambao, R.B., Umbal, J.V., Rodolfo, K.S., Tubianosa, B.S., Delos Reyes, P.J., and Ruelo, H.R., 1996. Tephra falls of the 1991 eruptions of Mount Pinatubo. *Fire and Mud: Eruptions and lahars of Mount Pinatubo*, Philippines. PHIVOLCS, Quezon City, University of Washington Press, Seattle.

- Pardyanto, L., Reksowirogo, L.D., Mitrohartono, F.X.S., Hardjowarsito, S.H., 1978. Volcanic hazard map, Merapi volcano, central Java (1/100 000), Geological Survey of Indonesia, II, 14, Ministry of Mines, Bandung.
- Pierson, T.C., Janda, R.J., Thouret, J.-C., Borrero, C.A., 1990. Perturbation and melting of snow and ice by the 13 November 1985 eruption of Nevado del Ruiz, Columbia and consequent mobilization, flow and deposition of lahars. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 41, pp. 17 - 66.
- Pigeon, P., 2002. Réflexions sur les notions et les méthodes en géographie des risques dits naturels. *Annales de Géographie*, n° 627-628, pp. 452-470.
- Pigeon, P., 2005. *Géographie critique des risques*, Economica-Anthropos, Paris, 218 p.
- Pigeon, P., 2012. *Catastrophes et résiliences. Pour une géographie de l'urbanisation*. L'Harmattan, 282 p.
- Purser, D. A., 1995, Section 2 in *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. National Fire Protection Association, Quincy MA, 2nd edn, pp. 85–146
- Quarantelli E.L., 1989. How individuals and groups react during disasters: planning and managing implications for EMS delivery. Disaster Research Center, University of Delaware.
- Rampino, M.R. and Self, S., 1982. Historic Eruptions of Tambora (1815), Krakatau (1883), and Agung (1963), Their Stratospheric Aerosols, and Climatic Impact. *Quaternary Research*, n 18, pp. 127 – 143.
- Rebotier, J., 2008. Les territorialités de risque urbain à Caracas. Les implications d'un construit socio-spatial dans une métropole d'Amérique Latine, Thèse de doctorat en géographie, Institut des Hautes Etudes d'Amérique Latine, 419 p.
- Reghezza M. , 2006, *Réflexions sur la vulnérabilité métropolitaine : le cas de la métropole francilienne face au risque de crue centennale*, Thèse de doctorat de géographie, Université Paris X Nanterre.
- Reghezza M., 1996. La vulnérabilité : un concept problématique. La vulnérabilité des sociétés et des territoires face aux menaces naturelles. *Analyses géographiques*. Collection « Géorisques », N°1, pp.36-39
- Remigio, A., Mercado, J., Bertram, T., Lacsamana, G., Pineda, L., 1997. Socioeconomic Impacts of the Mount Pinatubo Eruption, Fire and Mud: Eruptions and Lahars of Mount Pinatubo, Philippines.
- Renn, O., Rohrman, B., 2000. *Cross-cultural Risk Perception Research*. Dordrecht, Kluwer. 240 p.

- Ricklefs, M.C., 1974. *Jogjakarta Under Sultan Mangkubumi 1749-1792 : A History of the division of Java*. Oxford University Press.
- Robert, J., 2012. *Pour une géographie de la gestion de crise : de l'accessibilité aux soins d'urgence à la vulnérabilité du territoire à Lima*. Thèse de doctorat, Université de Grenoble, 549p.
- Rodolfo, K.S., 2000. The Hazard from Lahars and Jo'kulhlaups. *Encyclopedia of volcanoes*. Academic Press, pp. 973 – 995.
- Rose, W.I., Chuan, R. L., Cadge, R. D. and Woods, D. C.: 1980, Small particles in volcanic eruption clouds, *Am. J. Science* 280, pp. 671–696.
- Rosi, M., Principe, C. and Vecchi, R., 1993. The 1631 Vesuvian eruption: a reconstruction based on historical and stratigraphical data, *J. Volcanol Geotherm. Res.* 58, pp. 151–182.
- Seaton, A., MacNee, W., Donaldson, K. and Godden, D.: 1995, Particulate air pollution and acute health effects, *Lancet* 345, pp. 176–178.
- Seitz, S., 2004. *The Aeta at the Mt. Pinatubo, Philippines: A Minority Group Coping with Disaster*. New Day Publishers, Quezon City.
- Self, S., Gertisser, R., Thordarsonm T., Rampino, M. and Wolff, J.A., 2004. Magma volume, volatile emissions, and stratospheric aerosols from the 1815 eruption of Tambora. *Geophysical Research Letters*. Volume 31, 4p.
- Servin, O., 2008. *Que sont devenus les transmigrants ? Vingt-cinq ans de transmigration dans le Centre-Kalimantan (Indonésie)*. *Les Cahiers d'Outre Mer*, n 244, 2008/4, pp. 433 - 457
- Shelley, I., Voight, B., 1995. Medical effects of nue' e ardente eruptions: the November 1994 eruption at Merapi Volcano, Indonesia. In: *Proceedings of the Merapi Decade Volcano International Workshop, UNESCO/Volcanological Survey of Indonesia, Yogyakarta*, p. 9.
- Sierra, A., 2000. *Gestion et enjeux des espaces urbains à risque d'origine naturelle : les versants et les quebradas de Quito, Equateur*, Thèse de doctorat, Université de Paris 8 - Vincennes - Saint-Denis, 338 p.
- Sierra, A., 2009. *Espaces à risques et marges : méthodes d'approche des vulnérabilités urbaines à Lima et Quito*, *Revue en ligne Cybergéo*, Dossier Vulnérabilités urbaines au sud, 25 p.
- Sigurdsson, H. and Carey, S., 1989. Plinian and co-ignimbrite tephra fall from the 1815 eruption of Tambora volcano. *Bulletin of Volcanology*, n 51, pp. 242 – 270.
- Sigurdsson, H., Carey, S., 2007. Volcanic disasters in Latin America and the 13th November 1985 eruption of Nevado del Ruiz volcano in Colombia. *Disasters*. Vol. 10, Issue 3, September 1986, pp. 205 – 216.

- Sneddon, J.N., 2003. The Indonesian language: its history and role in modern society, University of New South Wales Press.
- Sparks, R.S.J., Barclay, J., Calder, E.S., Herd, R.A., Komorowski, J.-C., Lockett, R., Norton, G.E., Ritchie, L.J., Voight, B., Woods, A.W., 2002. Generation of a debris avalanche and violent pyroclastic density current on 26 December (Boxing Day) 1997 at Soufrière Hills Volcano, Montserrat. Druitt TH & Kokelaar BP. The eruption of Soufrière Hills Volcano, Montserrat, from 1995 to 1999. Geological Society, London, Memoirs, 21, pp. 409–434.
- Spence R.J.S., Pomonis A, Baxter P.J., Coburn A.W., White M., Dayrit M., 1996. “Building damage caused by the Mount Pinatubo eruption of June 15, 1991.” Newhall CG, Punongbayan RS (eds) Fire and mud: eruptions and lahars of Mount Pinatubo, Philippines. Philippine Institute of Volcanology and Seismology, University of Washington Press, Seattle, pp 1055–1061.
- Spence, R.J., Kelman, I., Brown, A., Toyos, G., Purser, D. and Baxter, P., 2007. Residential building and occupant vulnerability to pyroclastic density currents in explosive eruptions. Natural Hazards and Earth Systems Sciences, 7, pp. 219-230.
- Spence, R.J.S., Baxter, P.J., Zuccaro, G., 2004. Building vulnerability and human casualty estimation for a pyroclastic flow: a model and its application to Vesuvius. Journal of Volcanology and Geothermal Research. Volume 133, Issues 1–4, pp. 321–343.
- Stewart, C., Leonard, G.S., Horwell, C.J., Thordarson, T., Cronin, S.J., 2006. Contamination of water supplies by volcanic ashfall: A literature review and simple impact modelling. Journal of Volcanology and Geothermal Research n158, pp. 296 – 306.
- Stewart, M.G. 2003. Cyclone damage and temporal changes to building vulnerability and economic risks for residential construction. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 91(5), pp. 671–691.
- Surono, Jousset, P., Pallister, J., Boichu, M., Buongiorno M.F., Budi-Santoso A., Costa, F., Andreastutti, S., Prata, F., Schneider, D., Lieven, C., Humaida, H., Sumarti, S. Bignami, C., Griswold, J., Carn, S., Oppenheimer, C., 2012. The 2010 explosive eruption of Java's Merapi volcano - a '100-year' event. Journal of Volcanology and Geothermal Research
- Tanguy J-C, 1994. The 1902–1905 eruptions of Montagne Pelée, Martinique. Journal of Volcanology and Geothermal Research n 60, pp. 87–107.
- Taylor, G.A.M., 1958. The 1951 Eruption of Mount Lamington, Papua, Australian Dept of National Developments, Canberra, Bureau of Mineral Resources, Geology and Geophysics, Bull, N. 38.
- Texier, P., 2009. Thèse doctorale. Vulnérabilité et réduction des risques liés à l'eau dans les quartiers informels de Jakarta : Réponse sociale, institutionnelle. Université Paris Diderot (Paris 7).

- Texier, P., Gaillard, J.C., Lavigne, F., 2009. Les sociétés d'Asie du Sud-est face aux menaces volcaniques : entre phénomènes extrêmes et contraintes quotidiennes. In: Bertrand, D., Rieutort, L., Thouret, J.C. (Eds.), *Villes et volcans: Relations, représentations, pratiques*. Presses de l'Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand, pp. 71–95.
- Thouret, J.-C., D'Ercole, R., 1996. Vulnérabilité aux risques naturels en milieu urbain : effets, facteurs et réponses sociales. *Cahiers des Sciences Humaines, ORSTOM*. N 32, 2, pp. 3 -11.
- Thouret, J.C., Abdurachman, K.E., Bourdier, J.L., Bronto, S., 1998. Origin, characteristics, and behavior of lahars following the 1990 eruption of Kelud volcano, Eastern Java (Indonesia). *Bulletin of Volcanology* 59, pp. 460–480.
- Thouret, J.C., Lavigne, F., Kelfoun, K., Bronto, S., 2000. Toward a revised hazard assessment at Merapi volcano, Central Java. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, n 100, pp. 479–502
- Tilling, R.I. and Lipman, P.W., 1993. Lessons in reducing volcanic risks, *Nature* n 364, pp. 277–280.
- Tilling, R.I., Topinka, L. and Swanson, D.A., 1990. Eruptions of Mount St. Helens: Past, Present, and Future: USGS Special Interest Publication
- Timmerman, P. 1981. Vulnerability, Resilience and the Collapse of Society: A Review of Models and Possible Climatic Applications, *Environmental Monograph No.1*. Institute for Environmental Studies, University of Toronto: Toronto.
- Torry, W.I. 1979. Hazards, hazes and holes: a critique of the environment as hazard and general reflections on disaster research. *Canadian Geographer* 23(4), pp. 368–383.
- UNHCR, UNAIDS 2007. Besoins relatifs au VIH chez les personnes déplacées à l'intérieur de leur propre pays et les populations affectées par des conflits : outil d'évaluation rapide de la situation
- United Nations 1979. Disaster Prevention and Mitigation: A Compendium of Current Knowledge, vol. 7, Economic Aspects. New York, United Nations.
- Van Bemmelen, R.W., 1949. The geology of Indonesia. Vol. IA : General geology of Indonesia and adjacent archipelagoes. Gov. Print. Office., The Hague. 732 p.
- Veyret, Y. et Reghezza, M., 2006. Vulnérabilité et risques. L'approche récente de la vulnérabilité. *Catastrophes et territoires : les vulnérabilités. Les annales des mines*. N°43.
- Veyret, Y., 2003. Les risques. *Dossiers des images économiques du monde. SEDES*. 255 p.
- Vidal, C., 2011. Cartographie des dommages directs causés par l'éruption du volcan Merapi en 2010, Ile de Java, Indonésie. Mémoire de master 2. Université de Barcelonne. 23p.

- Vincent, P.M., Camus, G., Gourgaud, A., Mossand, P.C, 1992. Le Merapi : scénarios éruptifs dans la situation actuelle (oct 1992), d'après les enseignements des éruptions historiques. Actes du Colloque Association des Géographes Français, 5 déc 1992, CERAMAC, Clermont-Ferrand , pp. 237-246.
- Voight, B., 1990. The 1985 Nevado del Ruiz volcano catastrophe: anatomy and retrospection. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* n 44, pp. 349 – 386.
- Voight, B., Constantine, E.K., Siswowidjoyo, S., Torley, R. 2000. Historical eruptions of Merapi volcano, Central Java, Indonesia, 1768-1998. *Journal of volcanology and geothermal research*. N°100, pp. 69-138.
- Voight, B., Sukhyar, R., Wirakusumah, A.D., 2000. Introduction of the special issue on Merapi Volcano. *Journal of volcanology and geothermal research*, issue 100, pp. 1-8.
- Whitford, D.J., 1975. Strontium isotopic study of the volcanic rocks of the Sunda arc, Indonesia, and their petrogenetic implications. *Geochim. Cosmochim Acta*. N°39, pp. 1287-1302.
- Whitten, T., Soeriaatmadja, R.E., Afiff, S.A., 1996. The ecology of Java and Bali. Periplus Editions, 969 p.
- Will, J., 1903. Report on Medical Relief Expedition to Martinique and St. Vincent in Aid of the Sufferers from Volcanic Eruptions, May 1902, HMSO, London.
- Wilson, T., Cole, J., Johnston, D, Cronin, S., Stewart, C. and Dantas, A., 2012. Short and long-term evacuation of people and livestock during a volcanic crisis: lessons from the 1991 eruption of Volcán Hudson, Chile. *Journal of Applied Volcanology* 2012, 1:2
- Wilson, T., Kaye, G., Stewart, C., Cole, J., 2007. Impacts of the 2006 eruption of Merapi volcano, Indonesia, on agriculture and infrastructure. *GNS Science Report* 2007/07 69p.
- Wisner, B., Bankoff, G., Frerks, G., Hilhorst, D., 2004. Assessment of capability and vulnerability. In *Mapping Vulnerability: Disasters, Development, and People*. Earthscan: London, pp. 183–193.
- Wisner, B., O'Keefe, P. and Westgate, K., 1977. Global systems and local disasters: the untapped power of people's science. *Disasters*, n 1, pp. 47-57.
- Witham, C., Hort, M., Potts, R., Servranckx, R, Husson, P., Bonnardot, F., 2007. Comparison of VAAC atmospheric dispersion models using the 1 November 2004 Grimsvotn eruption. *Meteorological Applications* issue 14, pp. 27-38.
- Witham, C.S., 2005. Volcanic disasters and incidents: A new database. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* n 148, pp. 191 – 233.

- Witham, C.S., Oppenheimer, C. and Horwell, C.J. 2005. Volcanic ash-leachates: a review and recommendations for sampling methods. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, issue 141, pp. 299 - 326.
- Wolfe, E.W. and Hoblitt, R.P., 1997. Overview of the Eruptions. *Fire and Mud: eruptions and lahars of Mount Pinatubo, Philippines*. Philippines Institute of Volcanology and Seismology/University of Washington Press, Quezon City/Seattle.
- World Disasters Report 2008 – HIV, AIDS and natural disasters. International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies
- Zen, M.T., Soeparto, S. and Djoharman, L., 1980. Type and characteristics of the Merapi eruption. *Bulletin Departement Teknik Geologi. Institut Teknologi Bandung. J.I.*, pp. 34 – 46.
- Zhan, B.F., and Chen, X., 2008. Agent-Based Modeling and Evacuation Planning. *Geospatial Technologies and Homeland Security, GeoJournal Library, Vol. 94*, pp. 189 - 208.

TABLE DES MATIÈRES

AVANT PROPOS	7
SOMMAIRE	15
INTRODUCTION GÉNÉRALE	17
PREMIÈRE PARTIE : Cadre de l'étude et choix méthodologiques	27
Chapitre I : Le cadre du terrain d'étude : le contexte géodynamique indonésien, le volcan Merapi et son éruption de 2010	31
1. Le contexte géodynamique indonésien	31
2. Le Merapi, un volcan très actif	34
2.1. Le cadre morphostructural du Merapi	35
2.1.1. Description du volcan	36
2.1.2. Histoire géologique	38
2.1.3. Activité récente et couloirs des coulées pyroclastiques	39
2.2. Les aléas au Merapi	40
2.2.1. Les retombées verticales	40
2.2.2. Les écoulements pyroclastiques	42
2.2.3. Les écoulements associés	44
2.3. Des aléas qui se combinent lors des éruptions	46
3. Le contexte humain de l'étude	48
3.1. Un volcan densément peuplé	48
3.2. Un haut lieu culturel	55
3.2.1. L'« axe sacré » de Yogyakarta	55
3.2.2. Traditions et religions au Merapi	60
3.3. Les acteurs de la gestion et de l'aménagement du Merapi	62
3.3.1. Les organismes de coordination et de décision	62
3.3.2. Les organismes de consultation : responsables scientifiques et techniques	64
3.4. Les organismes d'intervention en cas de crise	68
3.4.1. La protection civile	68
3.4.2. Les services sociaux	69
3.5. Organisation de la gestion de crise	70
4. L'éruption de 2010	74
4.1. L'augmentation de l'activité du Merapi et des niveaux d'alerte	74
4.2. L'éruption du 26 octobre 2010	75
4.3. La montée en intensité de l'activité	77
4.4. L'éruption du 4 et 5 novembre 2010.....	78

4.5. Vers un retour au calme	80
Chapitre II – Choix méthodologiques	85
1. Acquisition de données	85
1.1. L'étude pré-éruption	86
1.1.1. Entretiens semi-dirigés	87
1.1.2. Élaboration de la base de données socio-économiques	88
1.1.3. Les groupes de discussions participatives	90
1.2. L'étude syn et post éruption	92
1.2.1. Réalisation d'entretiens	93
1.2.2. Étude des impacts locaux et régionaux de l'éruption	96
1.2.3. Groupe de discussion participative	97
1.2.4. Études de terrain complémentaires	98
1.2.5. Acquisition de données secondaires	99
2. Traitement des données	100
2.1. Mise en place d'un Système d'Informations Géographiques	101
2.1.1. Amélioration des données acquises au BAKOSURTANAL	101
2.1.2. Modification de la couche <i>desa</i> en polygones	103
2.1.3. Cartographie des limites de <i>dusun</i>	103
2.1.4. Cartographie de données socio-économiques par <i>dusun</i>	105
2.2. Photo interprétation	106
SECONDE PARTIE : Les impacts démographiques et culturels de l'éruption : analyse multiscale	113
Chapitre III : Les conséquences démographiques de l'éruption	123
1. La vulnérabilité des populations du Merapi à la veille de l'éruption d'octobre - novembre 2010	123
1.1. Une forte vulnérabilité sur les flancs du Merapi	124
1.1.1. Des densités de population rurales très fortes	124
1.1.2. Les population des plus vulnérables	125
1.2. Facteurs fonctionnels de la vulnérabilité : carence de moyens de transports et vétusté des réseaux	128
1.2.1. Des moyens de transports insuffisants	128
1.2.2. Un réseau routier globalement vétuste à la veille de l'éruption de 2010	130
1.2.3. Des systèmes d'alerte efficaces ?	131
1.3. Vulnérabilité du bâti	132
2. L'éruption la plus meurtrière depuis 80 ans	134
2.1. Un nombre de victimes modéré pour une éruption de forte intensité	135

2.1.1. Origine des pertes directes	137
2.1.2. Origine des pertes indirectes	138
2.1.3. Problèmes de santé	142
3. Les impacts de l'éruption à l'échelle locale	144
3.1. Un village spirituel dans une zone à risques : Kinahrejo	145
3.2. Un village a priori sans risque : Bronggang	149
4. Discussion	157
4.1. Pourquoi si peu de victimes face à une éruption de cette intensité ?	157
4.1.1. Des ordres d'évacuation donnés de justesse	157
4.1.2. Un changement de perception des risque qui facilita les évacuations	158
4.2. Pourquoi tant de victimes à Kinahrejo et à Bronggang ?	161
4.2.1. Kinahrejo et les victimes de la tradition	162
4.2.2. Bronggang, les victimes de la mémoire collective limitée	164
Chapitre IV : Réadaptation, reconversion, impacts à long terme	169
1. Reconstruction et relocalisation	169
1.1. Bronggang, le village renaît de ses cendres	171
1.2. Kinahrejo un village détruit, des habitants délaissés par le gouvernement	174
1.2.1. Les villageois de Kinahrejo dépourvus de tout	174
1.2.2. L'« axe sacré » brisé par l'éruption, permet aux villageois de repartir, dans un contexte culturel pérenne	175
1.2.3. La tradition, outil de gestion de crise pour le gouvernement	181
2. La transmigration, une solution en cas de catastrophe ?	182
2.1 La transmigration, héritage de la colonisation	183
2.2. Les avantages du programme pour les transmigrants	183
2.3. Une organisation difficile	186
2.4. Un programme qui suscite des difficultés	189
2.5. Mais très rentable pour le gouvernement Indonésien	190
TROISIÈME PARTIE : Les impacts socio-économiques de l'éruption : des flancs du volcan jusqu'à l'étranger	195
Chapitre V : Les perturbations du trafic aérien	199
1. Les éruptions volcaniques, sérieuses menaces pour l'aviation	199
2. Les transports inter-régionaux autour du Merapi	203
3. Les impacts de l'éruption sur les flux de transports javanais	206
3.1. Les prémices de la crise : du 12 au 29 octobre 2010	207
3.2. L'amplification de la crise : du 30 octobre au 4 novembre 2010	209
3.3. L'apogée de la crise : du 5 novembre au 19 novembre 2010	212

3.4. La reprise de l'activité : du 20 novembre au 20 décembre 2010	215
4. D'importants impacts socio-économiques liés aux perturbations du trafic aérien	215
4.1. Le lien entre activité volcanique et perturbation du trafic aérien	215
4.2. De lourdes pertes financières pour les compagnies aériennes	217
4.3. Un enjeu majeur de la crise : le pèlerinage à la Mecque	219
4.4. Cette crise est-elle comparable à celle du volcan Eyjafjöll de 2010 ?	220
4.5. Impacts de la crise sur les modes de transports alternatifs	221
Chapitre VI – Les impacts socio-économiques de l'éruption	227
1. Les conséquences socio-économiques des éruptions	227
2. Les lourds impacts de l'éruption sur le bâti	235
2.1. Les secteurs principalement détruits par les écoulements pyroclastiques : la partie amont	236
2.2. Les impacts des déferlantes pyroclastiques : la partie aval	240
2.3. Impacts liés aux chutes de cendres	243
2.4. Des éruptions passées beaucoup plus violentes	244
3. L'agriculture et l'élevage, activités vitales au Merapi	246
3.1. Présentation de l'agriculture sur les pentes du Merapi	246
3.2. Une agriculture lourdement touchée	248
3.2.1. Par les écoulements pyroclastiques	248
3.2.2. Par les chutes de cendres	248
3.2.3. Des dommages importants sur le court terme	248
3.3. Des pertes de bétail très localisées	251
3.4. Des éruptions plus destructrices	254
4. Le secteur du tourisme particulièrement impacté	256
4.1. La crise hôtelière	256
4.2. Le Merapi Golf durement touché	259
4.2.1. Un enjeu économique de premier ordre	259
4.2.2. Des pertes record	260
4.3. Le patrimoine mondial menacé par la catastrophe	261
4.4. Développement du tourisme de catastrophe	266
CONCLUSION GÉNÉRALE	273
BIBLIOGRAPHIE	283
TABLE DES MATIÈRES	301
TABLE DES FIGURES	305
TABLE DES TABLEAUX ET ENCADRÉS	312
ANNEXES	315

TABLE DES FIGURES

Figure 1. Synthèse des différentes approches de la vulnérabilité et relations.....	22
Figure 2. Carte de localisation du Merapi en Indonésie.....	31
Figure 3. Localisation des volcans indonésiens les plus meurtriers et conséquences des éruptions du Tambora (1815) et du Krakatoa (1883) sur l’archipel.....	33
Figure 4. Carte du découpage administratif de la zone d’étude.....	35
Figure 5. Les volcans alignés selon une direction N.185.....	36
Figure 6. Le cône du Merapi.....	37
Figure 7. Évolution de la morphologie du cône du Merapi, avant et après l’éruption de 2010.....	38
Figure 8. Carte de localisation des principales rivières du Merapi, couloirs des dernières coulées pyroclastiques.....	39
Figure 9. Nuage de cendres transporté par les vents à l’Ouest du Merapi.....	41
Figure 10. Nuées de type Merapi.....	43
Figure 11. Le front du lahar du 17 février 2007, volcan Semeru, Java, Indonésie.....	45
Figure 12. Carte des zones de danger de 1978.....	50
Figure 13. Carte des densités de populations sur le volcan Merapi.....	51
Figure 14. Une villageoise rapporte du fourrage du parc national du Merapi en marchant sur des dépôts d’une coulée pyroclastique de 2006.....	54
Figure 15. Représentation de l’axe sacré de Yogyakarta et de ses trois personnages spirituels.....	56
Figure 16. Le très médiatisé Mbah Marijan.....	59
Figure 17. Le <i>Kayon</i> représente l’arbre de vie et l’arbre de mort.....	61
Figure 18. Organigramme des organes de surveillance du Merapi.....	65
Figure 19. Carte de localisation des observatoires du Merapi et du BPPTK.....	66

Figure 20. SABO comblé par des dépôts de lahars à la suite de l'éruption de 1994, ralentisseur de lahars mais devenu tremplin pour les écoulements pyroclastiques.....	67
Figure 21. Organigramme des divisions administratives et titre de leur responsables.....	69
Figure 22. Carte réglementaire des zones de danger au Merapi en 2000, fondée sur une carte d'aléas.....	71
Figure 23. Schéma du système d'alerte et de la gestion de crise au Merapi.....	73
Figure 24. Carte des risques réalisée par le BPPTK, Juin 2009.....	73
Figure 25. Une forte hausse de l'activité volcanique à la veille de la première éruption.....	75
Figure 26. Photo du dôme du Merapi le 1 ^{er} novembre.....	76
Figure 27. Sismographes saturés le 3 novembre 2010.....	76
Figure 28. Localisation des camps de réfugiés, avant et après l'éruption du 4 novembre 2010.....	77
Figure 29. Zones touchées par les écoulements pyroclastiques de l'éruption de 2010 du Merapi.....	79
Figure 30. Carte réglementaire des zones de danger de 2011 et de 2001.....	76
Figure 31. Carte des sites d'enquête lors des recherches.....	87
Figure 32. La couche "landuse".....	101
Figure 33. Comparaison des limites des <i>desa</i> suivant l'origine des données.....	102
Figure 34. Carte complétée par les responsables du <i>desa</i> de Sumber, puis insérées dans le SIG.....	104
Figure 35. Zone affectée par les coulées pyroclastiques.....	106
Figure 36. Photointerprétation des images satellites afin d'étudier les impacts sur le bâti.....	107
Figure 37. Tableau de Synthèse du SIG sur l'étude des impacts de l'éruption de 2010 au Merapi.....	109
Figure 38. Facteurs qui affectent la vulnérabilité des habitations et leurs occupants lors d'un écoulement pyroclastique.....	118
Figure 39. Carte du maillage par <i>dusun</i> et le Parc National du Mont Merapi.....	123

Figure 40. Carte des densités de population sur le Merapi.....	125
Figure 41. Structure par âge des villageois du Merapi en 2010.....	126
Figure 42. Répartition des personnes handicapées (physiques et mentales confondues) sur le Merapi, par <i>dusun</i>	127
Figure 43. Capacité de transport des populations du Merapi, par <i>dusun</i>	128
Figure 44. État des routes à la veille de l'éruption de 2010.....	130
Figure 45. Répartition des sirènes sur les flancs du Merapi.....	132
Figure 46. Densité de maisons au km ²	133
Figure 47. Maison traditionnelle javanaise dont les murs en bois ont été remplacés par des parpaings.....	133
Figure 48. Types de maisons sur le Merapi.....	134
Figure 49. Carte de la répartition des victimes directes de l'éruption de 2010 au Merapi.....	136
Figure 50. Carte des blessés par <i>dusun</i> suite à l'éruption, la coulée pyroclastique du 5 novembre 2010.....	141
Figure 51. Répartition des victimes de problèmes respiratoires post-éruption.....	142
Figure 52. Yogyakarta sous les cendres du Merapi, le 30 octobre 2010.....	143
Figure 49. Promiscuité dans les camps de réfugiés du Merapi, stade Maguwoharjo, Yogyakarta.....	143
Figure 53. Carte de localisation des dusun Kinahrejo et Bronggang.....	145
Figure 54. Bo Pujo et Mbah Marijan officiants lors de la cérémonie du <i>Labuhan</i>	146
Figure 55. Pak Pujo conduisant le cheval sacré lors de la procession du <i>Labuhan</i>	146
Figure 56. Répartition de la population de Kinahrejo par secteur d'activité.....	147
Figure 57. Répartition de la population de Bronggang par secteur d'activité.....	150
Figure 58. Localisation de Bronggang.....	152
Figure 59. Vaches tuées par les déferlantes des coulées pyroclastiques du 5 novembre, Bronggang.....	154
Figure 60. Carte des impacts de l'éruption du 5 novembre 2010 à Bronggang.....	155

Figure 61. Carte de localisation des <i>dusun</i> Kerpuharjo et Umbulharjo ainsi que les sites d'évacuation des villageois de Bronggang.....	156
Figure 62. Taux de personnes évacuées retournant à leur domicile en période d'évacuation avant et après l'éruption du 5 novembre 2010.....	159
Figure 63. Raison du retour à leur domicile des personnes évacuées avant et après l'éruption du 5 novembre 2010.....	159
Figure 64. Nombre de réfugiés recensés par le gouvernement Indonésien des quatre kabupaten du Merapi, lors de la crise de 2010.....	160
Figure 65. Populations vivant dans les zones à risque.....	161
Figure 66. Habitant de Kalitengah Lor, de retour chez lui après avoir reconstruit sa maison au même emplacement qu'avant l'éruption.....	171
Figure 67. Travaux de canalisation de la rivière Gendol, janvier 2011.....	173
Figure 68. Sacs de sable protégeant le nord du village de Bronggang.....	173
Figure 69. <i>Shelter</i> de Plosokerep, Umbulharjo.....	175
Figure 70. Développement du tourisme à Kinahrejo.....	176
Figure 71. Le café Kinahrejo, Argo Wisata Kinahrejo.....	176
Figure 72. Danseur de <i>Jatilan</i> sur son cheval.....	177
Figure 73. Les bassins à poissons abandonnés du <i>shelter</i> Plosokerep, un an après leur installation.....	179
Figure 74. Les nouvelles maisons des habitants de Kinahrejo en construction.....	180
Figure 75. Une unité résidentielle de transmigration, une organisation très géométrique et structurée.....	184
Figure 76. Organisation d'une unité résidentielle de transmigration.....	185
Figure 77. Programme de transmigration pour l'année 2011 du kabupaten Sleman.....	187
Figure 78. Unité de transmigration à la veille de son inauguration, Jambi, Sumatra Sud.....	189
Figure 79. Forêt de palmiers sur des terrains de transmigrants pour la production d'huile de palme, région Sud Sumatra.....	190

Figure 80. Répartition des volcans actifs durant l'Holocène et des volcans ayant causé des incidents sur le trafic aérien.....	200
Figure 81. Zones de couverture des neuf centres VAAC.....	202
Figure 82. Localisation des aéroports de Yogyakarta et de Surakarta autour du volcan Merapi.....	203
Figure 83. Liaisons aériennes quotidiennes et nombre de vols au départ et à destination de l'aéroport international Adisucipto de Yogyakarta.....	204
Figure 84. Quatre niveaux d'intensité de perturbation liés à l'éruption du Merapi de 2010.....	207
Figure 85. Activité de l'aéroport Adisucipto de Yogyakarta durant l'éruption du Merapi de 2010.....	208
Figure 86. Activité de l'aéroport Adi Soemarmo de Surakarta durant l'éruption du Merapi de 2010.....	208
Figure 87. Train circulant sur l'axe Yogyakarta – Surakarta lors de la crise du Merapi.....	209
Figure 88. Panache de cendre émis par le Merapi au début de la crise.....	210
Figure 89. Nettoyage de la piste de l'aéroport Adisucipto de Yogyakarta.....	210
Figure 90. Perturbations du trafic aérien au début de l'éruption (du 30 octobre au 4 novembre).....	211
Figure 91. Le panache de cendres du Merapi orienté vers le Sud-ouest, le 4 novembre 2010.....	212
Figure 92. Le panache de cendres émis par le Merapi le 6 novembre 2010.....	213
Figure 93. Le panache de cendres du Merapi orienté au Sud et à l'Ouest, le 10 novembre 2010.....	214
Figure 94. Chronologie comparative du nombre d'écoulements pyroclastiques du Merapi et des annulations de vols à l'aéroport de Yogyakarta.....	216
Figure 95. Comparaison de la part des passagers voyageant par le train et par l'avion en 2010, en France et en Indonésie.....	223
Figure 96. Carte de localisation des édifices endommagés par les écoulements pyroclastiques de l'éruption du Merapi de 2010.....	236

Figure 97. Carte approximative des limites de pressions dynamiques engendrées par l'éruption du 5 novembre 2010.....	237
Figure 98. A et B. Vues diachroniques du parking de la maison de Mbah Marijan.....	238
Figure 99. L'ancienne route menant au <i>dusun</i> Kaliadem recouverte par les dépôts pyroclastiques.....	239
Figure 100. Impacts sur le bâti dus à l'éruption du Merapi de 2010 dans la partie amont de la zone touchée par les écoulements pyroclastiques.....	240
Figure 101. Impacts sur le bâti dus à l'éruption du Merapi de 2010 dans la partie aval de la zone touchée par les écoulements pyroclastiques.....	241
Figure 102. Une maison du <i>dusun</i> Bronggang brûlée par des déferlantes associées aux coulées pyroclastiques du 5 novembre.....	242
Figure 103. Comparaison des zones dévastées par les blasts des plus fortes éruptions des cent dernières années avec celle du Merapi de 2010.....	245
Figure 104. Carte de l'occupation du sol au Merapi.....	246
Figure 105. Plantation de maïs détruites par les chutes de cendres sur les flancs Nord-Ouest du Merapi.....	249
Figure 106. Plantation de tabac sur le flanc nord du Merapi.....	249
Figure 107. Bambous et palmiers cassés par les cendres, rizières fortifiées par l'éruption de 2010 dans la région de Muntilan.....	250
Figure 108. Localisation des bovins tués par l'éruption de 2010.....	252
Figure 109. Point de rassemblement pour le bétail évacué.....	253
Figure 110. Réponses de la fertilité des sols estimée par des agronomes indonésiens.....	255
Figure 111. Impacts de l'éruption sur l'occupation des hôtels de 3 à 5 étoiles de Yogyakarta.....	257
Figure 112. Le Merapi Golf, épargné de justesse par l'éruption de 2010.....	261
Figure 113. Le temple de Borobudur recouvert par les cendres du Merapi.....	263
Figure 114. Différence du nombre d'entrées au temple de Borobudur pour les années 2010 et 2011 et les années 2009 et 2010.....	264

Figure 115. Le village de Jumoyo enseveli par les lahars de janvier 2010.....	267
Figure 116. Carte postale de l'éruption du Merapi de 2010.....	268
Figure 117. Carte des risques de 2012 élaborée par le CVGHM.....	274
Figure 118. Système représentant l'« effet domino » produit par l'éruption du Merapi de 2010.....	280

TABLE DES TABLEAUX ET ENCADRÉS

Tableau 1. Quelques facteurs de vulnérabilité	21
Tableau 2. Directions privilégiées des écoulements pyroclastiques sur les flancs du Merapi, depuis 1961	40
Tableau 3. Classement des éruptions du Merapi des 100 dernières années selon la classification de Hartmann et Voight (2000)	47
Tableau 4. Caractéristiques et impacts des éruptions principales du Merapi depuis 1872	49
Tableau 5. Distribution de la population autour du Merapi en 1995 et en 2010	51
Tableau 6. Les départements des affaires sociales des <i>kabupaten</i> du Merapi en chiffres.....	70
Tableau 7. Les quatre niveaux d'activité du Merapi définis par le DVGHM et leurs conséquences pour les populations	72
Tableau 8. Victimes des principales éruptions du Merapi depuis 1872	135
Tableau 9. Tableau des victimes de l'éruption	140
Tableau 10 : Objectifs et envois réels de transmigrants du <i>kabupaten</i> Sleman entre 2005 et 2012	186
Tableau 11. Niveaux d'intensité de perturbation et nombre de vols annulés à l'aéroport international de Yogyakarta	207
Tableau 12. Classification des niveaux de dommages des bâtiments causés par les écoulements pyroclastiques	232
Tableau 13. Principaux villages dont les bâtiments ont été endommagés par l'éruption du Merapi de 2010 dans la partie amont de la zone touchée par les écoulements pyroclastiques.....	239
Tableau 14. Bâtiments endommagés par l'éruption du Merapi de 2010 dans la partie aval de la zone touchée par les écoulements pyroclastiques	243

Encadré 1. La légende fondant la dynastie du sultan Hamengkubuwono X	55
Encadré 2. La cérémonie du <i>Labuhan</i> dirigée par le <i>juru kunci</i>	58
Encadré 3. Le <i>jatilan</i> , symbole de la tradition immuable	177
Encadré 4. Une transmigration sous conditions mais qui apporte de nombreux avantages..	185

ANNEXES

Table des annexes :

A - Classification Voight/Hartmann (Voight, 2000)

B - Chronologie partielle retraçant l'activité volcanique et une partie des impacts économiques liés à l'éruption du Merapi de 2010

C - Questionnaires en vue de la réalisation d'entretiens semi-dirigés

D - Questionnaire PODUS en *bahasa indonesia* et en français.

E - Liste des hôtels membres de l'association des hôteliers de Yogyakarta au moment de l'éruption

F - Questionnaire SURDADU en *bahasa indonesia* et en français

G - Codes attribués aux *desa* de la zone d'étude

H - Détail des couches SIG du Merapi acquises auprès du BAKOSULTANAL

I - Classification de la vulnérabilité des espèces cultivées sur le Merapi face aux chutes de cendres d'après Wilson et al. (2007).

A. Classification Voigt/Hartmann (Voigt, 2000)

Type A	Type B	Type C	Type D	IEV	Victimes
			1587 (L)	3 - 4	
			1672 (L)	3 - 4	3000
1812 - 1821				1	
			1822 - 23	4	
		1832 - 1836		3	
	1837 - 1838			2	
1840				1	
		1846 - 1848		3	
			1849	3	
	1861			2	
	1862 - 1864			2	
	1865 - 1871			2	
			1872 - 1873	4	200
	1878 - 1880			2	
1883 - 1884				1	
1885 - 1887				1	
	1888			2	
1889				1	
	1891 - 1894			2	
	1897			2	
	1902 - 1904			2	
	1905 - 1906			2	
1907 - 1908				1	
1909 - 1913				1	
1915				1	1300
	1920 - 1923			2	
1924				0	
	1930 - 1931			3	1400
		1933 - 1934		2	
1939 - 1941				2	
	1942 - 1945			2	
1948				2	
	1953 - 1956			2	54
1957 - 1959				1	
	1961			3	
	1967 - 1969			2	
	1970 - 1974			2	
	1976 - 1979			2	
	1980 - 1984			2	
1984 - 1991				2	
1992 - 1993				2	
	1994 - 1998			2	63

B - Chronologie partielle retraçant l'activité volcanique et une partie des impacts économiques liés à l'éruption du Merapi de 2010

Date	Activité volcanique							Niveau d'alerte	Transports					Hôtels	
	Écoulement pyroclastiques	Tremblements de terre					Guguran		Train	Avions				Nombre de chambres occupées dans les hôtels de 3 à 5 étoiles de Yogyakarta	
		Tectonique	Volcanique A	Volcanique B	Basse Fréquence	Multiphase				Passagers quittant Yogyakarta	YOGYAKARTA		SURAKARTA		
											Passagers Dep./Arr.	Vols Dep./Arr.	Passagers Dep./Arr.		Vols Dep./Arr.
01/10/10	0	1	4	2	0	48	7	2	15 223	12635	90	2903	21	2274	
02/10/10	0	3	0	7	1	52	10	2	15 887	11862	88	2698	21	1927	
03/10/10	0	2	1	11	0	65	10	2	23 040	11933	90	2441	20	1353	
04/10/10	0	1	5	6	0	82	8	2	16 855	11975	91	2476	25	1724	
05/10/10	0	1	1	6	0	34	16	2	11 918	10793	89	2940	34	1948	
06/10/10	0	0	5	6	0	61	23	2	12 342	11698	90	2660	20	2233	
07/10/10	0	0	2	9	0	90	12	2	13 540	11822	85	2987	24	2350	
08/10/10	0	0	3	4	0	89	12	2	15 666	13003	90	2848	24	2308	
09/10/10	0	0	2	3	0	78	27	2	16 889	13335	92	2926	27	2643	
10/10/10	0	0	4	5	0	110	19	2	23 162	12751	89	2795	22	2066	
11/10/10	0	4	6	8	2	109	37	2	15 885	12685	90	2592	31	2209	
12/10/10	0	0	4	11	0	88	14	2	12 509	11836	92	3830	25	2237	
13/10/10	0	0	8	8	1	183	24	2	12 275	11517	89	3692	30	2477	
14/10/10	0	0	10	15	0	164	34	2	12 752	11606	89	4004	46	2539	
15/10/10	0	1	6	24	0	246	30	2	17 555	13189	89	3921	28	2384	
16/10/10	0	2	10	23	0	259	39	2	18 111	12621	91	4004	52	2266	
17/10/10	0	0	15	41	0	357	60	2	22 259	12017	86	3777	28	1434	
18/10/10	0	0	5	19	0	202	52	2	14 300	11936	89	3664	57	1935	
19/10/10	0	0	3	14	0	200	54	2	12 572	11122	92	3865	49	2103	
20/10/10	0	0	11	28	0	479	85	2	11 552	12027	90	3646	55	2368	
21/10/10	0	0	7	35	1	321	93	2	12 003	11711	88	3834	76	2433	
22/10/10	0	0	7	45	0	514	81	3	14 606	12824	89	4160	31	2689	
23/10/10	0	1	6	74	1	525	183	3	15 065	12304	89	4057	33	2639	
24/10/10	0	0	7	73	3	588	194	3	17 051	12828	89	4074	29	1601	
25/10/10	0	0	9	213	0	624	454	4	12 804	12605	90	3191	27	2275	
26/10/10	8	3	5	227	4	397	269	4	10 395	11176	87	3189	27	2446	
27/10/10	0	2	1	6	1	34	109	4	11 449	11469	89	2905	28	2596	
28/10/10	7	2	0	34	0	129	222	4	10 523	11377	85	3797	27	2658	
29/10/10	33	0	0	67	0	223	354	4	15 224	12400	89	3708	26	2533	
30/10/10	2	0	1	3	0	56	204	4	13 010	9140	67	5997	51	2245	
31/10/10	4	1	3	1	22	33	166	4	18 284	8830	70	5719	46	1339	
01/11/10	7	0	0	0	7	17	117	4	14 023	9727	82	3373	26	1250	
02/11/10	26	0	0	0	6	84	177	4	12 207	8160	75	1748	19	1485	
03/11/10	78	0	0	0	11	27	144	4	12 835	9124	84	2293	23	1528	
04/11/10	~	1	0	20	0	0	~	4	13 161	8537	71	2435	21	1713	
05/11/10	~	0	0	0	0	0	~	4	17 138	0	0	2653	19	1459	
06/11/10	~	1	0	6	0	0	~	4	18 122	0	0	2250	16	1206	
07/11/10	1	0	0	31	0	0	~	4	18 636	0	0	1479	16	809	
08/11/10	2	0	0	9	0	0	~	4	17 685	0	0	1642	13	700	
09/11/10	2	1	0	8	4	0	35	4	14 872	0	0	2061	16	677	
10/11/10	1	0	0	5	0	0	9	4	10 088	0	0	2217	16	596	
11/11/10	1	0	0	1	0	0	17	4	12 739	0	0	2343	17	647	
12/11/10	2	2	0	6	0	0	26	4	13 588	0	0	2563	16	718	
13/11/10	0	3	0	26	0	0	25	4	14 568	0	0	2661	17	854	
14/11/10	2	0	0	31	0	0	38	4	18 005	0	0	2982	19	678	
15/11/10	0	0	0	34	1	0	25	4	16 190	0	0	2605	16	664	
16/11/10	0	1	0	31	1	0	14	4	13 561	0	0	2598	20	602	
17/11/10	0	3	0	22	0	0	8	4	15 202	0	0	2535	16	535	
18/11/10	1	2	0	57	0	0	6	4	17 066	0	0	3177	22	698	
19/11/10	0	8	0	13	0	0	6	4	17 246	0	0	3512	22	934	
20/11/10	0	2	0	29	0	3	4	4	18 451	0	0	3556	29	969	
21/11/10	1	4	0	13	0	0	5	4	20 444	2008	16	3431	27	723	
22/11/10	5	1	0	17	0	49	20	4	17 029	2314	18	3058	24	946	
23/11/10	0	3	0	17	0	41	27	4	14 876	2533	25	3104	31	1090	
24/11/10	0	6	0	18	0	50	18	4	13 601	3206	30	2833	27	1296	
25/11/10	0	0	0	16	0	54	36	4	14 972	4003	32	3071	27	1586	
26/11/10	0	1	0	11	3	37	14	4	14 200	6438	49	2874	28	1022	
27/11/10	0	3	0	26	1	51	26	4	15 336	6927	50	2836	28	1197	
28/11/10	0	6	0	0	0	40	11	4	18 153	7692	54	2807	26	746	
29/11/10	0	3	0	0	0	44	19	4	15 565	7338	58	2747	34	801	
30/11/10	0	2	0	0	0	17	22	4	12 475	7359	64	2821	36	908	
01/12/10	0	0	0	1	0	28	22	4	12 967	8434	72	3532	32	1177	
02/12/10	0	2	0	0	1	57	51	4	11 918	8314	66	4469	31	1144	
03/12/10	0	5	0	1	0	30	63	3	14 632	9557	71	3740	18	1186	
04/12/10	0	0	0	2	0	32	37	3	16 886	10324	73	4265	31	1506	
05/12/10	0	1	0	0	0	21	84	3	20 074	9408	76	4592	28	1161	
06/12/10	0	1	0	1	0	70	102	3	16 762	8657	72	3235	28	1061	
07/12/10	0	1	0	0	1	71	56	3	18 647	9492	78	3924	27	931	
08/12/10	0	3	0	1	2	50	47	3	13 624	9295	74	3679	30	1171	
09/12/10	1	0	0	0	2	34	23	3	13 364	9007	73	3725	28	1311	
10/12/10	0	0	0	0	0	71	31	3	14 516	9897	76	3797	34	1236	
11/12/10	0	3	0	0	0	46	17	3	14 614	9701	81	3737	29	1062	
12/12/10	0	2	0	0	0	43	11	3	19 279	9877	79	4364	31	861	
13/12/10	0	6	0	0	0	30	16	3	13 920	9590	80	3723	27	1242	
14/12/10	0	0	0	0	0	24	22	3	7 413	9294	82	3586	33	1012	
15/12/10	0	1	0	0	1	29	10	3	13 955	10038	81	3717	28	1119	
16/12/10	0	2	0	0	0	17	14	3	10 629	9794	84	4483	30	1318	
17/12/10	0	3	0	0	0	25	11	3	14 979	11614	85	4113	30	1572	
18/12/10	0	1	0	0	0	24	20	3	13 832	11296	88	4147	30	1710	
19/12/10	0	1	0	4	0	53	3								

C - QUESTIONNAIRES EN VUE DES ENTRETIENS SEMI-DIRIGES

Questionnaires élaborés avec D Grancher, statisticienne au Laboratoire du Géographie Physique ; J.C. Gaillard, maître de conférences à l'université d'Auckland ; P Texier, Maître de conférences à l'université Lyon 3.

1. La population

I- Les conditions de vie quotidienne au village	Environnement familial	<ul style="list-style-type: none"> - D'où êtes-vous originaire ? - Depuis combien de temps habitez vous ici ? - Pourquoi êtes-vous venu ici ? - Êtes-vous heureux ici ? - Combien de personnes vivent dans votre maison ? - Quels sont les avantages d'habiter si près du volcan ?
	conditions de travail	<ul style="list-style-type: none"> - Quel est votre travail ? est-il dur ? Comment sont vos conditions de travail ? - Comment avez-vous choisi votre métier ? (héritage familial, travail ancien trop difficile, pas assez d'argent ?) - Avez-vous un patron ? - Êtes-vous propriétaire de votre maison, de votre terrain ? - Êtes-vous propriétaire de votre jardin, de vos animaux de ferme, de vos terrains ? - À qui la louez-vous ? - Avez-vous des animaux de ferme ? Lesquels ? Combien ? Vous appartiennent-ils (prêt, location, combien ça coûte) ? - Quel pourcentage de votre production vous revient-il ? Combien donnez-vous chaque semaine au propriétaire des vaches ou des champs ? - Votre matériel est-il renouvelé ?
	économie	<ul style="list-style-type: none"> - Combien gagnez vous par mois/semaine/jour ? - Votre femme travaille-t-elle ? Si oui combien gagne t-elle ? - Est ce suffisant pour votre famille ? - Épargnez vous ou faites-vous des économies ? Avez-vous une banque ? - Qu'est ce que vous aimeriez acheter ? - Quelles sont vos dépenses mensuelles ? (loyer, alimentation, vêtements, école, essence, électricité...) - Combien avez-vous d'enfants ? - Où vont-ils à l'école ? loin d'ici ? est-ce cher ? Ont-t-ils des bourses ? - Avez-vous des aides du gouvernement ? En nature (riz) ? En argent ? Combien ? Est-ce régulier ou ponctuel ? à quelles occasions ? - Avez-vous l'eau à la maison ? Quel est le type d'approvisionnement (puit, source, pompe, officiel) ? Combien cela vous coûte-t-il ? - Vous êtes-vous endetté ? Le louez vous ? - Que faites-vous lorsque vous manquez d'argent (réduire la nourriture, ou autres dépenses, emprunter de l'argent, avoir un autre petit boulot en plus (=sideline)) ? - Que mangez-vous habituellement ? - Quand mangez-vous quand vous avez moins d'argent ? à cause de quoi ?
	équipements	<ul style="list-style-type: none"> - Avez-vous l'électricité ? - Quelle énergie utilisez vous pour cuisiner ? - Avez-vous une télévision une radio, un karaoké ? - Quelle est la distance la plus longue que vous parcourez dans le mois ? Pour aller où ? - Quels sont vos moyens de transports ? Vous appartient il ? Le partagez vous ?
	vie au village	<ul style="list-style-type: none"> - Y a-t-il une bonne entraide entre vos voisins et vous ? De quel type ? - vous a-t-on déjà demandé votre avis concernant la gestion du village ? - Quels sont vos plus gros problèmes quotidiens ? - En cas de problème, en qui avez-vous le plus confiance ? (dukun, Marijan, famille, chef du village)
	implication citoyenne	<ul style="list-style-type: none"> - Allez-vous voter ? quand ? où ? - La politique vous intéresse-t-elle ? - Lisez vous la presse ? - Regardez vous les informations à la télévision ? Combien de fois par semaine ?

II- Le volcan : bonheur ou catastrophe ?		<ul style="list-style-type: none"> - Connaissez-vous bien le volcan Merapi ? - Avez vous peur des éruptions ? - D'après vous pourquoi y a t-il des éruptions ? - Pensez vous que l'on puisse arrêter ou diminuer les éruptions ? - Pensez vous que l'on puisse diminuer les dégâts subis par la population ? De quelle façon ? - Pourquoi y a-t-il eu des morts lors de l'éruption de 1994 ? - Pensez vous que vous pourriez être touché directement par une éruption ? Indirectement ? De quelle façon ? - Comment savez-vous qu'il va y avoir une éruption ? - Quels sont les risques en cas d'éruption ? - Pensez vous qu'il va y avoir d'autres éruptions ? - Que pensez vous de Mbah Marijan ?
III- Comportements en cas d'éruption		<ul style="list-style-type: none"> - Avez-vous déjà subi une éruption ? Aviez-vous déjà subi une éruption avant ? Aviez vous évacué ? - Avez vous eu peur au début de l'éruption ? - Vous et votre famille avez-vous évacué ? Quand ? - Avez-vous évacué dès le début de l'alerte ou avez vous voulu rester ? pourquoi ? - Qui écoutez-vous en priorité ? - Où avez-vous évacué ? - Comment êtes-vous partis ? - Combien de temps êtes-vous restés réfugiés dans les camps ? - Etes-vous retourné travailler au village pendant la journée ? - Toute votre famille a t-elle évacuée ? Pourquoi ? - Avez-vous attendu la fin de l'alerte avant de rentrer au village ou êtes vous rentré avant ? Seul ou avec d'autres habitants du village ? - Finalement avez-vous bien fait de venir vous réfugier ? - Comment sont les conditions dans les camps ? Que manque t-il ? Quels sont les problèmes ? - Pourquoi est ce-que les gens ne restent pas dans les camps de réfugiés ? - Quelle serait la solution pour que les gens restent dans les camps de réfugiés ? - En qui les gens ont-ils le plus confiance ? - Quand êtes vous rentré ?
IV- Informations contextuelles		<ul style="list-style-type: none"> - Nom - Age - Sexe - Niveau d'étude - Religion - Situation familiale

2. Les chefs de village

I- Les conditions de vie quotidiennes au village	<ul style="list-style-type: none"> - Depuis combien de temps êtes vous chef de ce village ? - Quels sont à votre avis les plus gros problèmes quotidiens ici ? - Au niveau du travail, y a-t-il du chômage ? - Tout le monde a-t-il l'eau à la maison ? l'électricité ? la télévision ? - Tous les enfants vont-ils à l'école ? au village ou loin d'ici ? Y a-t-il des enfants qui n'y vont pas ? pourquoi ? - y a t-il une bonne entraide entre habitants ? comment ? pourquoi non ? - Ici, les gens vont-ils voter ? quand ? où ? sur quels sujets ? - En quoi consiste votre fonction au village ? - Avez-vous déjà demandé de l'aide au gouvernement pour vos administrés ? - Quelles sont les maladies courantes au village ? - Quelle est la structure médicale la plus proche ? Où ? et quel prix ? - Certaines personnes reçoivent-elles des aides (financières/en nature) ? Quels sont les critères pour recevoir ces aides ? - Les gens ont-ils tous accès à l'eau ? - Les gens ont-ils accès à la terre ? (propriété, métayage, location, autre) - Quels sont les moyens de transports au village ? combien ça coûte ? Quelles sont les alternatives ? - Quelles sont les différentes communautés ?
--	---

II- Les difficultés de gestion du village	<ul style="list-style-type: none"> - quelles sont vos difficultés quotidiennes pour la gestion du village ? - pourquoi ? - qui vous dit ce qu'il faut faire ? - avez-vous des moyens d'améliorer la situation ? - Etes vous payé pour cette tâche, ou devez-vous travailler à côté ?
III- Le volcan : bonheur ou catastrophe ?	<ul style="list-style-type: none"> - connaissez vous bien le volcan Merapi ? - Avez-vous peur des éruptions ? - Pourquoi y a t-il des éruptions ? (Allah, Corruption, Maladie du volcan) - Pensez-vous que l'on puisse arrêter/diminuer les éruptions ? Comment ? (Respecter le volcan, ne plus prendre de sable, baisser la corruption) - Comment savez-vous qu'il va y avoir une éruption ? (presse, BPPTK, local wisdom) - quels sont les risques en cas d'éruption ? (nuées ardentes, lahar, que du bonheur, aucun) - Pensez vous qu'il va y avoir d'autres éruptions ?
IV- Comportements en cas d'éruption	<ul style="list-style-type: none"> - comment s'est passée l'évacuation de votre village ? Y a-t-il eu des résistances ? pourquoi ? - Les gens ont-ils eu peur lors du début de l'éruption ? - Quand les gens partent-ils aux camps ? (sirènes, scientifiques, local wisdom, nées) - Qui écoutez vous en priorité ? (scientifiques, Sultan, Marijan, local wisdom) - Où évacuent les habitants du village ? - Y a-t-il des réseaux de soutien (voisins, familles, amis, religieux ?) - Quelle est l'organisation communautaire ? Y a-t-il une entraide ? - comment sont les conditions dans les camps ? Que manque t-il ? (Nourriture, Toilettes, nattes, place,...) - Pourquoi est ce que les gens ne restent pas dans les camps ? (manque de place, pas confortable, maladies, peur de vol à la maison, manque d'argent, animaux de ferme, cultures,...) - Quelle serait la solution pour que les gens restent dans les camps ? - En qui les gens ont-ils le plus confiance ? (Marijan, Scientifiques, Sultan) - quand les gens rentrent ils ? - Pensez-vous à des stratégies de gestion qui seraient plus efficaces ? Quels sont les problèmes actuels ? (routes,...)
V- Informations contextuelles	<ul style="list-style-type: none"> - nom - age - sexe - origine - niveau d'étude - religion - situation familiale - Depuis combien de temps habitez vous au village ?

3. Les coopératives

- Que produisez-vous ?
 - Combien y a t il d'animaux ?
 - Quelle est l'étendue des villages concernés par la coopérative ?
 - Quelle quantité produisez vous ?
 - Combien y a-t-il d'employés ?
 - Quels sont vos coûts de production ?
 - A qui appartient la production ?
 - Qui sont les intermédiaires ?
 - Qui achète la production ?
 - Qui fixe les prix ?
 - À combien L'endettement de la coopérative s'élève t-il ? Auprès de qui ? depuis quand ?
- Qui est caution pour une mise en gage - hypothèque - vente de biens et capital (quoi ? quand ? auprès de qui ? remboursement ?



DAFTAR ISIAN DATA DASAR PROFIL DUSUN DI SEKITAR GUNUNG MERAPI

Dusun :

Desa :

Kecamatan :

Kabupaten :

Propinsi :

NAMA KEPALA DUSUN

NOMOR HP

PENTING

Panduan pengisian survei :

1. Isilah survei ini dengan bolpen warna hitam atau biru
2. Mohon mengisi semua lembar pertanyaan
3. Jika Anda tidak tahu jawabannya, silakan dicoret (-).
4. Jika tidak ada, silakan isi angka 0 (nol)

TAHUN 2010



**LISTE A COMPLETER
BASE DE DONNÉES PROFIL *DUSUN*
AUTOUR DU MONT MERAPI**

Dusun :

Desa :

Kecamatan :

Kabupaten :

Province :

NOM DU CHEF DE DUSUN

NUMÉRO DE TÉLÉPHONE

IMPORTANT

Consignes pour compléter l'enquête :

1. Complétez l'enquête avec un stylo à encre noir ou bleu
2. Veuillez compléter toutes les pages de l'enquête
3. Si vous ne connaissez pas la réponse, merci de compléter par un tiret (-).
4. Si la réponse est zéro, complétez par le chiffre 0

ANNÉE 2010



I. POTENSI SUMBER DAYA MANUSIA

A. JUMLAH

Jumlah total orang
Jumlah kepala keluarga orang

B. UMUR

0-10 tahun (jiwa yang lahir sesudah 1999) orang
Lebih dari 55 (jiwa yang lahir setelah 1955) orang

C. RIWAYAT PENDIDIKAN PENDUDUK

Tidak sekolah orang
Tamat SD/ sederajat orang
Tamat SMP/ sederajat orang
Tamat SMA/ sederajat orang
Tamat Universitas orang

D. MATA PENCAHARIAN POKOK

Petani orang
Buruh tani orang
Buruh/swasta orang
Pegawai negeri orang
Pengrajin orang
Pedagang orang
Peternak orang
Nelayan orang
Pertambangan penggalian orang
Di dusun Anda, apakah ada pertambangan pasir/batu ? (lingkari jawaban anda)

Tidak ada Sedikit Lumayan Banyak

E. AGAMA

Islam orang
Kristen orang
Katholik orang
Hindu orang
Budha orang



I. RESSOURCES HUMAINES

A. NOMBRE D'HABITANTS

Nombre total orang
Nombre de chefs de famille orang

B. Âge

0-10 ans (personnes nées après 2000) orang
Plus de 55 (personnes nées avant 1965) orang

C. NIVEAU D'ÉDUCATION DE LA POPULATION

Pas allé à l'école orang
École primaire orang
Collège orang
Lycée orang
Université orang

D. MATA PENCAHARIAN POKOK

Agriculteur orang
Employé agriculteur orang
Employé dans le privé orang
Fonctionnaire orang
Artisan orang
Commerçant orang
Éleveur orang
Pêcheur orang
Mineur orang

Dans votre *dusun*, y a-t-il des extractions de sable ? (entourez votre réponse)

Pas du tout Un peu Moyennement Beaucoup

E. RELIGION

Islam orang
Protestant orang
Catholique orang
Hindou orang
Bouddhiste orang



F. CACAT MENTAL DAN FISIK

Cacat mentalorang
Cacat fisikorang

II. POTENSI KELEMBAGAAN

A. LEMBAGA KEMASYARAKATAN

ORGANISASI PEREMPUAN unit
Jumlah anggota orang

ORGANISASI PEMUDA unit
Jumlah anggota orang

ORGANISASI PROFESI uni
(misalnya petani)
Jumlah anggota orang

ORGANISASI BAPAK unit
Jumlah anggota orang

KELOMPOK GOTONG ROYONG unit
Jumlah anggota orang

B. LEMBAGA PEREKONOMIAN

KOPERASI unit
Jumlah anggota orang

INDUSTRI KERAJINAN unit
Jumlah tenaga kerja orang

INDUSTRI MAKANAN unit
Jumlah tenaga kerja orang

INDUSTRI ALAT RUMAH TANGGA unit
Jumlah tenaga kerja orang



F. PERSONNES HANDICAPÉES

Handicapé mentalorang
Handicapé physiqueorang

II. INSTITUTIONS

A. INSTITUTIONS SOCIALES

ORGANISATION DE FEMMES unit
Nombre d'adhérents orang

ORGANISATION DE JEUNES unit
Nombre d'adhérents orang

ORGANISATION PROFESSIONELLE uni
(par exemple : agriculteurs)
Nombre d'adhérents orang

ORGANISATION D'HOMMES unit
Nombre d'adhérents

GROUPE D'ENTRAIDE unit
Nombre d'adhérents orang

B. INSTITUTIONS ÉCONOMIQUES

COOPÉRATIVE unit
Nombre d'adhérents orang

INDUSTRIE ARTISANALE unit
Nombre d'employés orang

INDUSTRIE ALIMENTAIRE unit
Nombre d'employés orang

INDUSTRIE D'ÉQUIPEMENTS MÉNAGERS unit
Nombre d'employés orang



INDUSTRIE DU BÂTIMENT

Nombre d'employés

..... unit

..... orang

INDUSTRIE DE MATERIEL AGRICOLE

Nombre d'employés

..... unit

..... orang

RESRAURANT/échope de snacks

Nombre d'employés

..... unit

..... orang

BOUTIQUE/SUPERMARCHÉ

Nombre d'employés

..... unit

..... orang

ÉPICERIE

Nombre d'employés

..... unit

..... orang

TRANSPORTS

Nombre d'employés

..... unit

..... orang

MARCHÉ

..... unit

PRÊTEUR SUR GAGE

..... orang

PENGIJON

..... orang

ENTREPRISE DE PLANTATIONS

Nombre d'employés

..... unit

..... orang

GROUPES D'ÉPARGNE ET DE PRÊT

Nombre de membres

..... unit

..... orang

C. SÉCURITÉ

Nombre de postes de surveillance

..... unit

Nombre de gardes

..... orang

Formes de participation publique en matière de sécurité

.....



INDUSTRI BAHAN BANGUNAN

Jumlah tenaga kerja

..... unit

..... orang

INDUSTRI ALAT PERTANIAN

Jumlah tenaga kerja

..... unit

..... orang

RESTORAN/warung makan

Jumlah tenaga kerja

..... unit

..... orang

TOKO/SWALAYAN

Jumlah tenaga kerja

..... unit

..... orang

WARUNG KELONTONG

Jumlah tenaga kerja

..... unit

..... orang

ANGKUTAN

Jumlah tenaga kerja

..... unit

..... orang

PASAR

..... unit

RENTENIR

..... orang

PENGIJON

..... orang

USAHA PERKEBUNAN

Jumlah tenaga kerja

..... unit

..... orang

KELOMPOK SIMPAN PINJAM

Jumlah tenaga anggota

..... unit

..... orang

C. KELEMBAGAAN KEAMANAN

Jumlah pos kamling

..... unit

Jumlah hansip/sejenisnya

..... orang

Bentuk partisipasi masyarakat dalam keamanan lingkungan

.....



III. PRASARANA DAN SARANA

A. PRASARANA DAN SARANA TRANSPORTASI

Bis	..... unit
Truk	..... unit
Mobil	..... unit
Sepeda motor	..... unit
Sepeda	..... unit
Delman/dokar	..... unit
Angkot/mikrolet	..... unit

B. PRASARANA KOMUNIKASI

Telfon umum	..... unit
TV umum	..... unit
HP	..... jumlah rumah tangga yang memiliki
RADIO	..... jumlah rumah tangga yang memiliki
TV	..... jumlah rumah tangga yang memiliki
Parabola	..... jumlah rumah tangga yang memiliki

C. PRASARANA AIR BERSIH

Jumlah sumur pompa	..... unit
Jumlah sumur gali	..... unit

Apakah penduduk di dusun Anda sudah pernah mengamati perubahan ketinggian air di dalam sumur ? (lingkari jawaban anda)

YA TIDAK

Jumlah mata air unit
-----------------	------------

Apakah penduduk di dusun Anda sudah pernah mengamati perubahan lokasi dan volume air mata air ? (lingkari jawaban anda)

YA TIDAK

Jumlah hidran umum	..... unit
Jumlah embung	..... unit
Pengguna air sumur pompa	..... KK
Pengguna air sumur gali	..... KK



III. INFRASTRUCTURES ET EQUIPEMENTS

A. MOYENS DE TRANSPORTS

Bus	..... unit
Camion	..... unit
Voiture	..... unit
Moto	..... unit
Vélo	..... unit
Calèche	..... unit
Minibus	..... unit

B. MOYENS DE COMMUNICATION

Téléphone public	..... unit
Télévision publique	..... unit
Téléphone portable	..... jumlah rumah tangga yang memiliki
RADIO	..... jumlah rumah tangga yang memiliki
Télévision	..... jumlah rumah tangga yang memiliki
Parabole	..... jumlah rumah tangga yang memiliki

C. INFRASTRUCTURES EN EAU

Nombre de puits de pompage	..... unit
Nombre de puits creusés	..... unit

Les résidents du village ont-ils observé un changement du niveau d'eau dans les puits ?
(Encercler votre réponse)

OUI NON

Nombre de sources unit
-------------------	------------

Les résidents du village ont-ils observé un changement de la localisation des sources et du débit de celles-ci ?

OUI NON

Nombre de fontaines publiques	..... unit
Nombre d'étangs	..... unit
Usagers d'eau pompée	..... KK
Usagers d'eau de puit	..... KK



Pengguna mata air	..... KK
Pengguna hidran umum	..... KK
Pengguna embung	..... KK
Pengguna air sungai	..... KK
Pengguna perpipaan	..... KK
Pengguna PAM	..... KK

D. PRASARANA PERIBADATAN

Jumlah masjid	..... buah
Jumlah gereja kristen	..... buah
Jumlah gereja katholik	..... buah
Jumlah vihara	..... buah
Jumlah pura	..... buah

E. PRASARANA KESEHATAN

Rumah sakit umum	..... unit
Puskesmas	..... unit
Puskesmas pembantu	..... unit
Poliklinik balai pengobatan	..... unit

F. SARANA KESEHATAN

Jumlah dokter	..... orang
Jumlah paramedis	..... orang
Jumlah dukun terlatih	..... orang
Bidan dusun	..... orang
Ambulans	..... unit

G. PRASARANA PENERANGAN

Listrik PLN	..... KK
Diesel	..... KK
Lampu Minyak	..... KK



Usagers d'eau de source	..... KK
Usagers de fontaines publiques	..... KK
Usagers d'eau d'étang	..... KK
Usagers d'eau de rivière	..... KK
Utilisateurs d'eau par tuyeau	..... KK
Utilisateurs d'eau par une compagnie d'eau	..... KK

D. LIEUX DE CULTES

Nombre de mosquée	..... buah
Nombre de temple protestant	..... buah
Nombre d'église	..... buah
Nombre de temples indouiste	..... buah
Nombre de pagode	..... buah

E. INFRASTRUCTURES DE SANTÉ

Hôpital public	..... unit
Centre médical	..... unit
Centre de soins	..... unit
Polyclinique	..... unit

F. EQUIPEMENTS DE SANTÉ

Nombre de docteurs	..... orang
Nombre de personnel paramédical	..... orang
Nombre de <i>dukun</i> (sorciers)	..... orang
Sage-femme de village	..... orang
Ambulance	..... unit

G. INFRASTRUCTURES ÉLECTRIQUES

Connecté réseau d'électricité	..... KK
Diesel	..... KK
Lampes à pétrol	..... KK



H. RUMAH MENURUT DINDING

Tembok	..... rumah
Tembok dan kayu	..... rumah
Kayu	..... rumah
Kayu dan bambu	..... rumah
Bambu	..... rumah

I. LAIN-LAIN

Kentongan	..... unit
Sirene	..... unit
Barak pengungsian	..... unit
Jalur evakuasi	..... unit
Panel evakuasi	..... unit

III. TANAMAN PANGAN

A. TANAMAN UTAMA

TANAH KERING	TANAMAN UTAMA
<i>Tegalan</i>
<i>Ladang</i>
<i>Perkebunan</i>



H. MAISON PAR TYPE DE MUR

Mur en dur	..... rumah
Dur et bois	..... rumah
Bois	..... rumah
Bois et bambou	..... rumah
Bambou	..... rumah

I. AUTRES

Gong	..... unit
Sirène	..... unit
Camp de réfugiés	..... unit
Route d'évacuation	..... unit
Panneau indicateur d'évacuation	..... unit

III. AGRICULTURE ET PLANTATIONS

A. PLANTATIONS PRINCIPALES

TERRE SÈCHE	PLANTATION PRINCIPALE
<i>Tegalan</i>
<i>Champ</i>
<i>Jardin</i>



B. PEMILIKAN LAHAN PERTANIAN TANAMAN PANGAN

Jumlah rumah tangga yang memiliki tanah pertanian	.....KK
Tidak memiliki	..... KK
Memiliki kurang 0,5 ha	..... KK
Memiliki 0,5 – 1,0 ha	..... KK
Memiliki lebih dari 1,0 ha	..... KK

C. PEMILIKAN LAHAN PERKEBUNAN

Jumlah rumah tangga yang memiliki tanah perkebunan	..... KK
Tidak memiliki	..... KK
Memiliki kurang 0,5 ha	..... KK
Memiliki 0,5 – 1,0 ha	..... KK
Memiliki lebih dari 1,0 ha	..... KK

D. LUAS KEHUTANAN

Milik negara	..... ha
Milik adat/masyarakat adat	..... ha
Perhutani	..... ha
Total	..... ha

E. PETERNAKAN

Sapi	..... ekor
Kerbau	..... ekor
Babi	..... ekor
Kuda	..... ekor
Kambing	..... ekor

Terima kasih atas kerja sama Anda !



B. PROPRIÉTAIRES DE TERRES AGRICOLES

Nombre de familles possédant des terres agricoles	.....KK
N'en possèdent pas	..... KK
Possèdent moins de 0,5 ha	..... KK
Possèdent de 0,5 à 1,0 ha	..... KK
Possèdent plus de 1,0 ha	..... KK

C. PROPRIÉTAIRES DE PLANTATIONS

Nombre de familles possédant une plantation	..... KK
N'en possèdent pas	..... KK
Possèdent moins de 0,5 ha	..... KK
Possèdent de 0,5 à 1,0 ha	..... KK
Possèdent plus de 1,0 ha	..... KK

D. SUPERFICIE DES FORÊTS

Possédé par l'Etat	..... ha
Possédé par des peuples autochtones	..... ha
Perhutani	..... ha
Total	..... ha

E. ÉLEVAGE

Boeufs	..... ekor
Buffles	..... ekor
Cochons	..... ekor
Chevaux	..... ekor
Ovins	..... ekor

NOUS VOUS REMERCIONS POUR VOTRE COLLABORATION !

E – Liste des hôtels membres de l'association des hôteliers de Yogyakarta au moment de l'éruption

	NOM DE L'HÔTEL	ADRESSE	NOMBRE DE CHAMBRES
5 ÉTOILES	HYATT REGENCY	Jl.Palagan Tentara Pelajar	269
	MELIA PUROSANI	Jl.Suryotomo No.31	280
	SHERATON MUSTIKA	Jl.Adisucipto km 8.7	246
	THE PHOENIX HOTEL YOGYAKARTA	Jl. Jenderal Sudirman	144
4 ÉTOILES	GRAND QUALITY JOGJA HOTEL	Jl. Laksda Adisucipto 48	170
	INNA GARUDA	Jl.Malioboro 60	233
	JOGJAKARTA PLAZA	Jl. Affandi Gejayan Komp.Colombo	157
	SANTIKA YOGYAKARTA	Jl.Jend.Sudirman 19	148
	JAYAKARTA HOTEL	Jl. Solo Depok	129
	SAHID RAYA HOTEL	Jl. Babarsari Depok	128
	SAPHIR HOTEL YOGYAKARTA	Jl. Laksda Adisucipto 38	312
	NOVOTEL YOGYAKARTA	Jl. Jendral Sudirman 89	200
3 ÉTOILES	MUTIARA JOGJA	Jl.Malioboro No.18	120
	IBIS MALIOBORO	Jl. Malioboro 52-28	148
	PURI ARTHA HOTEL	Jl. Cendrawasih No 36	70
	GOWONGAN INN	Jalan Gowongan Kidul no. 50	60
	ABADI HOTEL	Jl. Pasar Kembang No. 49	96



SURVEI DAMPAK DUSUN MERAPI (SURDADU)

TAHUN 2011

Dusun :

Desa :

Kecamatan :

Kabupaten :

Propinsi :

NAMA KEPALA DUSUN

NOMOR HP

PENTING

Panduan pengisian survei :

1. Isilah survei ini dengan bolpen warna hitam atau biru
2. Mohon mengisi semua lembar pertanyaan
3. Jika Anda tidak tahu jawabannya, silakan dicoret (-).
4. Jika tidak ada, silakan isi angka 0 (nol)



ETUDE DES IMPACTS DES DUSUN DU MERAPI (SURDADU)

ANNÉE 2011

Dusun :

Desa :

Kecamatan :

Kabupaten :

Province :

NOM DU CHEF DE DUSUN

NUMÉRO DE TÉLÉPHONE

IMPORTANT

Consignes pour compléter l'enquête :

1. Complétez l'enquête avec un stylo à encre noir ou bleu
2. Veuillez compléter toutes les pages de l'enquête
3. Si vous ne connaissez pas la réponse, merci de compléter par un tiret (-).
4. Si la réponse est zéro, complétez par le chiffre 0



I. POTENSI SUMBER DAYA MANUSIA

A. JUMLAH PENDUDUK

Jumlah total	..... orang
Jumlah kepala keluarga	..... orang
Jumlah laki-laki	..... orang
Jumlah perempuan	..... orang
Jumlah penyandang cacat	..... orang

B. UMUR

0 - 10 tahun (jiwa yang lahir sesudah 1999)	..... orang
11 - 54 tahun (jiwa yang lahir setelah 1999 dan sesudah 1955)	..... orang
Lebih dari 55 tahun (jiwa yang lahir setelah 1955)	..... orang

C. MATA PENCAHARIAN POKOK

Petani	..... orang
Buruh tani	..... orang
Buruh/swasta	..... orang
Pegawai negeri	..... orang
Pengrajin	..... orang
Pedagang	..... orang
Peternak	..... orang
Pertambangan penggalian	..... orang

Setelah letusan Merapi apa ada perubahan mata pencaharian penduduk ?

Ya / tidak (coret yang tidak perlu)

Jika ya, paling banyak dari pekerjaan apa ke pekerjaan apa ? (Contoh : Petani menjadi pedagang)

.....menjadi

.....menjadi

.....menjadi

Di dusun Anda, apakah ada pertambangan pasir/batu ? (lingkari jawaban anda)

Tidak ada

Sedikit

Lumayan

Banyak

II. EVAKUASI

A. PERINGATAN EVAKUASI



I. RESSOURCES HUMAINES

A. NOMBRE D'HABITANTS

Nombre total	..... personnes
Nombre de chefs de famille	..... personnes
Nombre d'hommes	..... personnes
Nombre de femmes	..... personnes
Nombre de personnes handicapées	..... personnes

B. UMUR

0 - 10 ans (personnes nées après 2001)	..... personnes
11 - 54 ans (personnes nées avant 2000 et après 1965)	..... personnes
Plus de 55 ans (personnes nées avant 1966)	..... personnes

C. MATA PENCAHARIAN POKOK

Agriculteur	..... personnes
Employé agriculteur	..... personnes
Employé dans le privé	..... personnes
Fonctionnaire	..... personnes
Artisan	..... personnes
Commerçant	..... personnes
Éleveur	..... personnes
Mineur	..... personnes

Après l'éruption y-a-t il eu des changements de vos moyens de subsistance ?

Oui / non (barrez la réponse négative)

Si oui, principalement pour quels métiers ? (Exemple : Agriculteur devenu commerçant)

.....devenu

.....devenu

.....devenu

Dans votre *dusun* y-a-t il des extractions de sable ? (entourez votre réponse)

Pas du tout

Un peu

Moyennement

Beaucoup

II. Evacuations

A. Moyens d'alerte pour l'évacuation



(coret yang tidak perlu)

Kepala desa
Kentongan
Sirene
Handy Talkie (HT)
Radio
Televisi
Telepon/HP
Teriakan tetangga

Ya / Tidak
Ya / Tidak
Ya / Tidak
Ya / Tidak
Ya / Tidak
Ya / Tidak
Ya / Tidak
Ya / Tidak

B. PERIODE PENGUNGSIAN

1. Pengungsian pertama

Tanggal
Jam berapa evakuasi
Sampai tanggal kapan mengungsi
Barak pengungsian mana
Alat transportasi (naik apa)

...../...../.....
.....:.....wib
...../...../.....
.....

Kendaraan pemerintah / TNI:

▪ Truk :unit
▪ Mobil :unit
Kendaraan lokal:
▪ Sepeda motor :unit
▪ Pick-up :unit
▪ Mobil :unit
▪ Truk :unit

2. Pengungsian kedua

Tanggal
Jam berapa evakuasi
Sampai tanggal kapan mengungsi
Barak pengungsian mana
Alat transportasi (naik apa)

...../...../.....
.....:.....wib
...../...../.....
.....

Kendaraan pemerintah / TNI:

▪ Truk :unit
▪ Mobil :unit
Kendaraan lokal:
▪ Sepeda motor :unit
▪ Pick-up :unit
▪ Mobil :unit
▪ Truk :unit



(Barez la réponse négative)

Chef de <i>desa</i>	Oui / Non
Gong	Oui / Non
Sirène	Oui / Non
Talkie-walkie	Oui / Non
Radio	Oui / Non
Télévision	Oui / Non
Téléphone/Portable	Oui / Non
Cris des voisins	Oui / Non

B. Périodes d'évacuation

1. Première periode

Date/...../.....
Heure d'évacuation:.....
Évacuation jusqu'à quelle date/...../.....
Nom du camp de réfugié	.....
Moyen de transport utilisé	
Véhicule du gouvernement / Armée:	
▪ Camion :	.....unité
▪ Voiture :	..... unité
Véhicule local :	
▪ Moto :	..... unité
▪ Pick-up :	..... unité
▪ Voiture :	..... unité
▪ Camion :	..... unité

2. Seconde évacuation

Date/...../.....
Heure d'évacuation:.....
Évacuation jusqu'à quelle date/...../.....
Nom du camp de réfugié	.....
Moyen de transport utilisé	
Véhicule du gouvernement / Armée:	
▪ Camion :	.....unité
▪ Voiture :	..... unité
Véhicule local :	
▪ Moto :	..... unité
▪ Pick-up :	..... unité
▪ Voiture :	..... unité
▪ Camion :	..... unité



3. Pengungsian ketiga

Tanggal

...../...../.....

Jam berapa evakuasi

.....:.....wib

Sampai tanggal kapan mengungsi

...../...../.....

Barak pengungsian mana

.....

Alat transportasi (naik apa)

Kendaraan pemerintah / TNI:

▪ Truk :

.....unit

▪ Mobil :

.....unit

Kendaraan lokal:

▪ Sepeda motor :

.....unit

▪ Pick-up :

.....unit

▪ Mobil :

.....unit

▪ Truk :

.....unit

4. Pengungsian keempat

Tanggal

...../...../.....

Jam berapa evakuasi

.....:.....wib

Sampai tanggal kapan mengungsi

...../...../.....

Barak pengungsian mana

.....

Alat transportasi (naik apa)

Kendaraan pemerintah / TNI:

▪ Truk :

.....unit

▪ Mobil :

.....unit

Kendaraan lokal:

▪ Sepeda motor :

.....unit

▪ Pick-up :

.....unit

▪ Mobil :

.....unit

▪ Truk :

.....unit

C. TEMPAT PENGUNGSIAN

Di dusun anda, berapa orang yang mengungsi di :

Resmi (yang disediakan oleh pemerintah)

..... orang

Mandiri (yang diprakarsai oleh masyarakat)

..... orang

Rumah saudara

..... orang



3. Troisième évacuation

Date/...../.....
Heure d'évacuation:
Évacuation jusqu'à quelle date/...../.....
Nom du camp de réfugié
Moyen de transport utilisé
Véhicule du gouvernement / Armée:
▪ Camion :unité
▪ Voiture : unité
Véhicule local :
▪ Moto : unité
▪ Pick-up : unité
▪ Voiture : unité
▪ Camion : unité

4. Quatrième évacuation

Date/...../.....
Heure d'évacuation:
Évacuation jusqu'à quelle date/...../.....
Nom du camp de réfugié
Moyen de transport utilisé
Véhicule du gouvernement / Armée:
▪ Camion :unité
▪ Voiture : unité
Véhicule local :
▪ Moto : unité
▪ Pick-up : unité
▪ Voiture : unité
▪ Camion : unité

C. Lieu d'évacuation

Dans votre village, combien de personnes ont évacuées dans un camp :

Officiel (fourni par le gouvernement) orang
Indépendant (fourni par des personnes/entreprises privées) orang
Maison familiale orang



D. PERMASALAHAN

Jumlah kendaraan evakuasi mencukupi tidak ? ya / tidak
Jika tidak cukup, penduduk naik apa untuk evakuasi:

Apakah ada penolakan evakuasi ? ya / tidak
Jika ya, berapa orang yang menolak:

Bagaimana kondisi jalur evakuasi ? baik / sedang / buruk

Di barak pengungsian apakah ada permasalahan kesehatan ? ya / tidak
Jika ya :
 Sakit fisik orang
 Sakit psikologis (stress, bingung, ...) orang
 Meninggal jumlah

E. KORBAN

Di dusun anda berapa orang :
Luka ringan orang
Luka berat orang
Meninggal di tempat orang
Meninggal di rumah sakit orang
Sakit pernapasan (asma,...) orang

III. DAMPAK

Berapa rupiah kerugian pertanian di dusun anda ?rupiah

Rumah rusak sedang (atap rusak, dapur kayu rusak, ...). Masih bisa diperbaiki dan dihuni disebabkan oleh :
 Awan panas jumlah
 Abu, pasir vulkanik jumlah
 Lahar jumlah
 Pohon tumbang jumlah
 Lainnya : jumlah

Rumah rusak berat. Tidak bisa diperbaiki dan dihuni disebabkan oleh :
 Awan panas jumlah
 Abu, pasir vulkanik jumlah
 Lahar jumlah
 Pohon tumbang jumlah
 Lainnya : jumlah

Kendaraan rusak akibat letusan :
 Mobil : unit
 Motor : unit



D. Problèmes

Le nombre de véhicules pour évacuer était-il suffisant ?

Oui / non

Si non, les personnes ont évacué par quel moyen ?

.....

Y a-t-il eu des refus d'évacuer ?

Oui / non

Si oui, combien de personnes ont refusé :

.....

Comment étaient les conditions des routes d'évacuation ?

bonne / moyenne / mauvaise

Dans les camps y a-t-il eu des problèmes de santé ?

ya / tidak

Si oui :

Malades physiquement

..... personnes

Malades psychologiquement (stress, confusion, ...)

..... personnes

Décès

..... nombre

E. VICTIMES

Dans votre *dusun*, combien t a-t-il eu de :

Blessés légers

..... personnes

Blessés lourd

..... personnes

Morts sur place

..... personnes

Morts à l'hôpital

..... personnes

Malades respiratoires (asthme,...)

..... personnes

III. IMPACTS

A combien sont estimées les pertes agricoles dans votre *dusun* ?

..... ..rupiah

Maisons endommagées (toitures endommagées, cuisines en bois cassées, ...) à cause de :

Nuées ardentes

..... nombre

Cendres et sable volcanique

..... nombre

Lahar

..... nombre

Chutes d'arbres

..... nombre

Autre :

..... nombre

Maisons lourdement endommagées, ne pouvant plus être habitées, à cause de :

Nuées ardentes

..... nombre

Cendres, sable volcanique

..... nombre

Lahar

..... nombre

Chute d'arbre

..... nombre

Autre :

..... nombre

Véhicules endommagés par l'éruption :

Voitures :

..... unité

Motos :

..... unité



Fasilitas publik yang rusak akibat letusan :

Kantor : unit
Tempat ibadah : unit
Jaringan listrik : ya / tidak

Hewan ternak mati

Sapi potong ekor
Sapi perah ekor
Anak sapi ekor
Kerbau ekor
Kambing Jawa ekor
Kambing / domba ekor

Hewan ternak dievakuasi

..... ekor

Apakah di daerah anda ada wisata bencana ?

ya / tidak

Jika ya, sekitar berapa jumlah wisatawan per minggu

..... orang

Apakah ada permasalahan tentang air setelah letusan ?

Untuk konsumsi sehari-hari (minum, MCK, hewan ternak,...) ya / tidak

Untuk irigasi ya / tidak

Apakah ada perbaikan untuk jaringan air yang rusak ?

ya / tidak

Apakah ada program relokasi dan transmigrasi ?

ya / tidak

Jika ya, kemana ?

.....

Apakah ada bantuan dari LSM, Ormas, Orpol ?

ya / tidak

Terima kasih atas kerja sama Anda !



Équipements public détruits par l'éruption:

Bureau: unité
Lieux de culte: unité
Réseau électrique: Oui / non

Bétail tué

Vache à viande	..... tête
Vache laitière	..... tête
Veau	..... tête
Buffle	..... tête
Chèvre	..... tête
Mouton	..... tête

Bétail évacué

..... tête

Y a-t-il un lieu de tourisme de catastrophe dans votre village

Oui / non

Si oui, combien y a-t-il de visiteurs par semaine

..... personnes

T a-t-il eu des problèmes liés à l'eau après l'éruption ?

Pour la consommation quotidienne (eau potable, sanitaire, élevage,...) Oui / non

Pour l'irrigation Oui / tidak

Le réseau d'eau endommagé a-t-il été réparé ?

Oui / non

Y a-t-il eu des programmes de relocalisation ou de transmigration ?

Oui / non

Si oui, vers où ?

.....

Y a-t-il eu des aides de la part d'ONG ou de la banque centrale ?

Oui / non

Merci pour votre collaboration !

G. Codes attribués aux *desa* de la zone d'étude

Kabupaten	Kecamatan	N°	Desa	Nombre de dusun
Magelang D	Sumbing 01	01	Ngargosuko	7
		02	Tegalrandu	7
		03	Mranggen	14
		04	Ngablak	7
		05	Kemiren	3
		06	Srumbung	14
		07	Kaliurang	5
		08	Sudimoro	9
		09	Kamongan	4
		10	Jeruk Agung	7
		11	Nglumut	3
	Dukun 02	01	Sengi	8
		02	Paten	7
		03	Krinjing	10
		04	Mangunsuko	5
		05	Keningar	2
		06	Kalibening	9
		07	Wates	8
		08	Ngadipuro	9
		09	Ketunggeng	9
		10	Sumber	12
		11	Sewukan	6
		12	Ngargomulyo	11
		13	Dukun	19
		14	Banyudono	12
	Sawangan 03	01	Wonolelo	18
		02	Kapuhan	8
		03	Ketep	5
		04	Krogowanan	12
		05	Sawangan	9
Sleman A	Turi 01	01	Girikerto	8
		02	Wonokerto	2
	Pakem 02	01	Purwobinangun	3
		02	Hargobinangun	10
		03	Candibinangun	8
	Cangkringan 03	01	Umbulharjo	9
		02	Glagaharjo	9
		03	Kepuharjo	8
		04	Wukirsari	3
		05	Argomulyo	11
	Ngemplak 04	01	Bimomartani	4
		02	Sindumartani	2
		03	Widodomartani	10
		04	Tegalmulyo	3
Klaten B	Kemalang 01	02	Sidorejo	3
		03	Panggang	2
		04	Talun	2
		05	Balerante	4
		06	Suroteleng	7
Boyolali C	Selo 01	01	Samiran	10
		02	Lencoh	10
		03	Jrakah	5
		04	Klakah	2
		05	Tlogolele	8
		06	Wonodoyo	3
	Cepogo 02	01	Gedangan	4
		02	Clunthang	2
	Musuk 03	01	Mriyan	3
		02	Lanjaran	2
		03	Sangup	2

H. Détail des couches SIG du Merapi acquises auprès du BAKOSULTANAL

1. *Infrastruktur*

- Bangunan Terpencar : édifice dispersé
- Gereja : église
- Kantor Bupati : bureau du *kabupaten*
- Kantor Camat : bureau du *kecamatan*
- Kantor Desa : bureau du *desa*
- Kantor Lurah : bureau du Maire
- Kantor Polisi : bureau de Police
- Kantor Walikota : Mairie
- Kuburan cina : cimetière chinois
- Kuburan hindu : cimetière hindouiste
- Kuburan Islam : cimetière musulman
- Kuburan kristen : cimetière chrétien
- Layanan Pos : bureau de poste
- Layanan telekomunikasi : centre de télécommunication
- Masjid : mosquée
- Menara : tour télécommunication
- Pasar : marché
- PLTA : centrale électrique
- Pura = temple hindouiste
- Rumah sakit/Puskesmas : hôpital/dispensaire
- Sekolah : école
- Tambang : mine
- Tangki Bahan Bakar : réservoir d'essence
- Tempat Menarik : lieu remarquable
- Tonggak Kilometer : borne kilométrique
- Vihara : temple chinois

2. *Sungai*

- Sungai : rivière
- Sungai musiman : rivière saisonnière

3. *Kontur*

- Kontur Indeks : contour index
- Kontur Indeks 50 : courbe maitresse (50m)
- Kontur Interval : équidistance

4. *Jalan*

- Jembatan : pont
- Jembatan_layang : pont suspendu
- Jln_kolektor : chemin
- Jln_lain : route alternative
- Jln_lokal : route locale
- Jln_nasional : route nationale
- Jln_propinsi : route de province
- Jln_setapak : chemin de terre
- Terowongan : tunnel
- Tidak_ada_klas_jalan : route hors classe
- Titian : sentier

5. Landuse

- Air laut : eau de mer
- Air payau : eau saumâtre
- Air tawar : eau douce
- Belukar/semak : friches
- Gedung : bâtiment
- Hutan : forêt
- Kebun : jardin
- Pasir darat : sable
- Pemukiman : maison
- Rawa : marais
- Rumput : fourrage
- Sawah irigasi : champ irrigué
- Sawah tadah hujan : champ inondé par les pluies
- Tanah berbatu : sol nu
- Tegalán : champ sec

6. Lignesdesa

- Batas Desa : limites des communes
- Batas Kabupaten : limites des cantons
- Batas Kecamatan : limites des départements
- Batas Peta/Frame : limites de la carte

I - Classification de la vulnérabilité des espèces cultivées sur le Merapi face aux chutes de cendres d'après Wilson et al. (2007).

Crop	Vulnerability rank	Vulnerable parts of plant	Vulnerable stages of development	Ash thickness versus damage (selected examples)	Attempted mitigation methods and their success
Rice	Low	Seed-head (development of grains inhibited)	During final stages of seed-head development (mature rice)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Traces of ash (<1 mm) appear to cause no damage and are regarded by many farmers as beneficial 2. Damage to seed-head with 5 mm ash (waypoint 38) 3. Waypoint 117 with 15 mm ash: <ul style="list-style-type: none"> - mature rice = 50% loss (Rp1.5 million damage) - juvenile rice = 25 % loss - baby rice = no expected loss 	Washing of juvenile rice in paddy with irrigation water. Natural cleaning by condensation in morning is highly effective.
Tobacco	High	Broad, hairy leaves trap ash and will die eventually if not cleaned Flowers are very sensitive	Tobacco is vulnerable throughout its life cycle due to the tendency of its leaves to trap ash, and is particularly vulnerable during flowering. Smothering of mature plants occurs at 20 mm ashfall.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Damage to leaves begins at 1-2 mm ash 2. The crop was written off with repeated 2-3 mm ashfalls over 4 weeks (waypoint 17) 3. At waypoint 49, the leaves on a mature plant were falling off with 20 mm ash 	Shaking the crop is only partially successful but is commonly used. Cleaning leaves by hand causes abrasion to leaves and has limited success. Damaged broad leaves at base are often pulled off.
Tomatoes	High	Leaves, flowers and fruit are all very vulnerable.	Nearly all stages are vulnerable, but mature plants are particularly vulnerable.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Damage to leaves begin at 1-2 mm ash 2. With repeated 5-10 mm ashfalls over a month, the crop was written off and the fruit rotted on the vine (waypoint 47) 	Shaking is only partially successful. Hand cleaning causes abrasion to leaves and has limited success.
Carrots	Low	None encountered as leaves tend to shed ash	None encountered	1. Mature carrots were unaffected with 10mm ashfall (waypoint 48)	Inter-row planting between taller plants was effective, though probably not intentional.
Onions	Some	Tips of leaves are vulnerable; the length of the dead leaf tip was longer in ashfall-affected areas and leaves were drier.	Juvenile onions are vulnerable but are expected to recover well.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Damage to leaf tips with 2-3 mm ash (waypoint 17). 2. Damage to leaf tips with 15-20 mm ash (waypoint 80). 	Some isolated cases of shaking, which has limited success.
Cabbage	Moderate	Outer leaves discolour and rot. In extreme cases, inner leaves would also rot.	Mature plants most vulnerable	<ol style="list-style-type: none"> 1. Young cabbages were unaffected by 10 mm ash (waypoint 48) 2. 90% loss of a cabbage plot with 20mm (waypoint 80) 	Washed in small irrigation channels immediately after harvest to remove ash; this was highly successful.
Chilli peppers	High	Flowers are highly vulnerable, and all leaves are vulnerable to acid damage, particularly when young. The fruit also is vulnerable.	Both mature (3-4 month old) and juvenile plants are vulnerable, but there is greater economic loss when plants are mature as fruit are lost. The flowering stage is highly vulnerable.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Some leaf and fruit damage with 0.5 mm ash (waypoint 6) 2. All flowers damaged and some leafs damaged with 2-3 mm (waypoint 17) 3. 60% of crop near maturity lost with 2.5 mm ash (waypoint 96) 3. 95% loss of crop at all stages of development at chilli pepper farm with 15-20 mm ashfall (waypoint 73), with severe damage to fruit and leaves. 4. 100% loss of crop with 20 mm ash (wp 80). 	Shaking was attempted, but with limited success.

Crop	Vulnerability rank	Vulnerable parts of plant	Vulnerable stages of development	Ash thickness versus damage (selected examples)	Attempted mitigation methods and their success
Peanuts	Some	Leaves are efficient at shedding tephra	None encountered	-	Shaking
Oranges	Moderate	Skin (if not cleaned, skin would grow around ash which would form nodules ~1mm in size. Leaves showed some limited damage.	-	1. Some leaf and fruit damage with 15-20mm ash (waypoint 73)	None encountered – uneconomic to clean each piece of fruit
Cauliflower	Moderate	Seed-head and leaves vulnerable to acid damage.	Mature plants most vulnerable with an open seed-head	1. Seed-head and leaves damaged (plants written off with 15-20mm (waypoint 73)	None encountered
Cucumbers	Insufficient Observations	-	-	-	None encountered
Corn/maize	High	Leaves are vulnerable. The cob is usually well protected from tephra infiltration.	Juvenile corn is most vulnerable. Mature corn would die earlier than expected, but cobs would ripen (some seed-heads wouldn't fill) and could often be harvested.	1. Corn crop written off 4 weeks from harvest with 5-7mm ash (waypoint 19) 2. 60% harvest of a mature crop with 20 mm ash (waypoint 80) 3. Mature crop (2.5 m high) abandoned despite cobs appearing unaffected, with 25 mm ash (waypoint 48)	None encountered
Potatoes/Taro	Some	Leaves are vulnerable but root crop is usually unaffected.	Young plants vulnerable.	1. Leaves damaged by tephra fall, 100% loss expected with 4-5 mm ash (waypoint 17)	None encountered
Bananas	Insufficient Observations	Leaves are very effective collectors of ash; the fruit appeared to be unaffected.	-	-	None encountered
Lemons	Moderate	Leaves vulnerable. Fruit could be expected to suffer from same problems as oranges.	-	1. Acid damage to leaves with 2-3 mm ash (waypoint 17)	None encountered
Other trees	Low	Leaves on trees within or at margins of block and ash flows were scorched, but many showed signs of recovery after 10 days. Acid and abrasion damage to leaves and flowers.	Young and small trees most vulnerable to block and ash flows.	1. Trees with trunks greater than 25 cm survived block and ash flow in Woro river 2. Acid damage to leaves with > 1 mm ash (widespread isolated cases) 3. Flowers damaged by acid and abrasion – 15-20mm: possible tephra surge (waypoint 80)	None encountered
Watermelons	Insufficient Observations	<i>Not grown in any tephra fall areas</i>			

